

UNIVERSITÉ DE NANCY - FACULTÉ DE PHARMACIE

1932-1933

N° 60

**Contribution à l'étude des eaux d'alimentation
par des méthodes physiques
(Application aux Eaux de Moselle)**

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 12 Juillet 1933

DEVANT LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE NANCY

pour obtenir le Grade

de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ
(Mention Pharmacie)**

PAR

Pierre GIRARDOT

Pharmacien

Préparateur de Pharmacie Galénique

né le 18 Novembre 1908, à Besançon

Examineurs . . . {	MM. GRÉLOT	Président.
	SEYOT	Juges.
	DONZELOT	

NANCY

SOCIÉTÉ D'IMPRESSIONS TYPOGRAPHIQUES

1933



Digitized by the Internet Archive
in 2026

UNIVERSITÉ DE NANCY - FACULTÉ DE PHARMACIE

1932-1933

N° 60

Contribution à l'étude des eaux d'alimentation
par des méthodes physiques
(Application aux Eaux de Moselle)

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 12 Juillet 1933

DEVANT LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE NANCY

pour obtenir le Grade

de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ
(Mention Pharmacie)

PAR

Pierre GIRARDOT

Pharmacien

Préparateur de Pharmacie Galénique

né le 18 Novembre 1908, à Besançon

Examineurs ..	{	MM. GRÉLOT	{	Président.
		SEYOT		Juges.
		DONZELOT		

NANCY

SOCIÉTÉ D'IMPRESSIONS TYPOGRAPHIQUES

1933

Université de Nancy — Faculté de Pharmacie

PERSONNEL ENSEIGNANT

DOYEN HONORAIRE:

M. BRUNTZ, O. ✱, ✨, I ✨, O. ✨, ✨, ✨, Recteur de l'Université de Nancy

PROFESSEURS HONORAIRES:

MM. FAVREL, ✱, I ✨

BRUNTZ, O. ✱, ✨, I ✨, O. ✨, ✨, ✨

DOYEN:

M. SEYOT, ✱, ✨, I ✨, ✨, ✨

ASSESSEUR:

M. GILLOT, I ✨, ✨

PROFESSEURS:

MM. GRÉLOT, ✱, I ✨, ✨.....	Pharmacie galénique.
DOURIS, I ✨, ✨, ✨.....	Toxicologie.
PASTUREAU, O ✱, I ✨, ✨.....	Pharmacie chimique.
SEYOT, ✱, ✨, I ✨, ✨, ✨.....	Histoire naturelle.
LASSEUR, I ✨, ✨.....	Microbiologie.
GILLOT, I ✨, ✨.....	Matière médicale.
PRÉVOST, ✨.....	Chimie organique.

AGRÉGÉ LIBRE:

M. GIRARDET, ✱, I ✨..... Chimie et Toxicologie.

CHARGÉS DE COURS

MM. PRÉVOST, ✨.....	Chimie minérale et Minéralogie.
GRÉLOT, ✱, I ✨, ✨.....	Hydrologie.
PASTUREAU, O ✱, I ✨, ✨.....	Chimie biologique.
DONZELOT.....	Physique.
VERNIER, I ✨.....	Zoologie.
SIMONNET I ✨.....	Législation et Déontologie.
GILLOT, I ✨, ✨.....	Pharmacotechnie.
CORDEBARD, I ✨, ✨.....	Analyse chimique.
SEYOT, ✱, ✨, I ✨, ✨, ✨.....	Hygiène.

CHEFS DE TRAVAUX:

MM. VERNIER, I ✨.....	Microbiologie et Parasitologie.
MEUNIER.....	Pharmacie.
CORDEBARD, I ✨, ✨.....	Chimie et Analyse chimique.
STEIMETZ.....	Micrographie.
DONZELOT (chargé de travaux)	Physique.
MICHON (chargé de travaux)..	Chimie biologique et Toxicologie.

SECRÉTARIAT:

M. E. TRIBOLET, I ✨..... Secrétaire.

La Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend ni les approuver ni les imputer.



A la mémoire de mon Père

A ma Mère

A mon maître,
M. le Professeur GRÉLOT.
Chevalier de la Légion d'honneur.

AVANT-PROPOS

Nous ne saurions commencer l'exposé de ce travail sans témoigner notre reconnaissance à nos Maîtres et à tous ceux qui, directement ou indirectement, ont facilité notre tâche.

Que M. le Professeur SEYOT, Doyen de notre Faculté, près de qui nous avons toujours rencontré la plus grande bienveillance, veuille bien agréer l'expression de nos sentiments très respectueux et de notre vive gratitude.

Nous sommes particulièrement heureux de pouvoir remercier ici notre cher Maître, M. le Professeur GRÉLOT, qui nous a honoré des fonctions de Préparateur dans son laboratoire, et nous l'assurons de notre profonde reconnaissance. Au Maître qui a guidé nos études par son exemple et ses savants conseils, nous témoignons une respectueuse admiration et nous gardons un souvenir ému de l'appui moral très précieux que nous avons toujours trouvé en lui. Nous n'oublierons pas non plus que c'est à son appui matériel que nous devons la réalisation de ce travail.

A l'inspirateur de notre thèse, M. le Professeur DONZELOT, agrégé des sciences physiques, nous offrons ce modeste travail en témoignage de notre vive gratitude. Nous avons été touché du bienveillant accueil qu'il nous a réservé dans son laboratoire et de la persévérance avec laquelle il a guidé pas à pas nos recherches, nous dispensant de précieux conseils nés de sa science de physicien et nous faisant profiter de ses travaux.

Qu'il veuille bien accepter l'hommage de nos remerciements sincères.

Nous remercions également M. le Docteur BENECH, Directeur du Service d'Hygiène de la Ville de Nancy, pour l'intérêt qu'il nous a porté au cours de nos recherches.

Nous n'oublierons pas enfin nos camarades du laboratoire de Physique et particulièrement MM. DIVOUX et MOUGENOT, à qui nous adressons un cordial merci pour leur aimable collaboration.

Contribution à l'étude des eaux d'alimentation par des méthodes physiques (Application aux Eaux de Moselle)

INTRODUCTION

Bien que, depuis quelques années, les hygiénistes insistent sur l'intérêt de l'utilisation des propriétés physiques d'une eau pour apprécier sa qualité, ce sont encore, dans la majorité des laboratoires, les seuls résultats de l'analyse chimique et bactériologique qui font loi en la matière.

Le chimiste se contente en général, au point de vue physique, d'appréciations très subjectives sur le goût, l'odeur, la couleur et la limpidité. Par exemple, il observe l'eau, sur fond sombre, dans un flacon en verre blanc et exprime son appréciation par les termes: limpide, louche, ou trouble. Dans quelques cas spéciaux, il détermine la turbidité de l'eau par l'un ou l'autre des procédés que nous étudierons au début de ce travail, mais dont aucun ne permet de traduire les résultats par des nombres qui correspondent à une grandeur physique connue.

En février 1932, M. le Professeur DONZELOT présentait, à la Société des Sciences de Nancy, un appareil permettant de déterminer d'une façon précise la turbidité d'une eau.

Ce turbidimètre fut le point de départ de notre travail quand M. DONZELOT nous proposa comme sujet de thèse une étude physique des eaux d'alimentation et son application aux eaux de Moselle utilisées par la Ville de Nancy.

A l'étude de la turbidité, nous avons joint celle de trois autres facteurs physiques en relation avec les altérations et la pollution possible d'une eau destinée à l'alimentation. Ces trois facteurs sont: la résistivité électrique qui touche la minéralisation, la numération des particules visibles à l'ultra microscope et la tension superficielle.

Pour comparer les résultats obtenus avec ceux des analyses habituelles, nous avons dosé également les matières organiques. Ce dosage présente l'intérêt d'être celui que l'on utilise presque toujours lorsque l'on veut suivre une épuration d'eau et c'est lui qui, à côté des résultats bactériologiques, fournit les données employées pour la stérilisation.

Notre expérimentation a porté sur trois séries de prélèvements faits aux stades principaux de l'acheminement des eaux de Moselle vers Nancy :

Première série de prélèvements : dans la Moselle elle-même à l'entrée des berges filtrantes.

Deuxième série : Au château d'eau de Messein, point de réunion des deux canalisations d'eau filtrée alimentées par les usines de pompage.

Troisième série : à l'arrivée au réservoir Saint-Charles, avant javellisation.

Dans l'exposé de ce travail, nous avons adopté le plan suivant :

La première partie est un exposé théorique : choix, principe et discussion des méthodes, description des appareils employés pour les différentes mesures.

Dans une deuxième partie nous exposons les résultats obtenus ainsi que les détails pratiques et le mode opératoire suivi dans l'application de nos méthodes aux eaux de Moselle servant à l'alimentation de la ville de Nancy.

La troisième partie est réservée à la représentation graphique et à l'interprétation des résultats.



PREMIÈRE PARTIE

TURBIDITÉ DES EAUX D'ALIMENTATION

Trop nombreuses sont les municipalités qui, pour l'alimentation des habitants, sont obligées d'avoir recours aux eaux des fleuves et des rivières. Ces eaux, qui subissent toujours de nombreuses contaminations, doivent obligatoirement être purifiées, pour être rendues propres aux usages domestiques. Or, que l'on s'adresse à une purification par les hypochlorites alcalins, ou à une purification par l'ozone, — ce dernier procédé étant de plus en plus utilisé —, tous les spécialistes de la question s'accordent à reconnaître l'importance capitale de la limpidité des eaux dans la stérilisation.

Si une approximation grossière peut paraître suffisante dans l'appréciation de la turbidité d'une eau brute de rivière, une méthode précise s'impose par contre pour suivre les phases d'amélioration d'une eau, qu'il s'agisse de localiser des infiltrations ou de déterminer le bon rendement d'une installation filtrante. De plus, il est nécessaire d'exprimer la turbidité par des nombres qui correspondent à une grandeur physique connue, faute de quoi toute collaboration devient impossible.

Nous classerons en trois groupes les méthodes utilisées pour la mesure des turbidités.

1^o Méthodes par absorption (1).

Principe. — On détermine la hauteur d'eau nécessaire à rendre invisible un repère immergé.

En 1865, le Père SECCHI employait déjà cette méthode pour déterminer la transparence des eaux en Méditerranée.

a) *Procédé du formulaire des Hôpitaux Militaires*

On utilise comme repère le bouchon de fermeture d'un tube de cristal de 1 mètre de long sur 2 cm. de diamètre. Ce bouchon peint en blanc porte sur sa face intérieure une bande noire de 4 mm. de largeur. L'eau est dite limpide si l'on perçoit encore la bande noire sous une hauteur d'eau supérieure à 0m.60; elle est dite louche entre 0 m. 30 et 0 m. 60 et trouble s'il faut moins de 0 m. 30 pour rendre la bande invisible.

b) *Méthode du cylindre de transparence*

Cette méthode est très utilisée en Allemagne. Ici le repère est constitué par des caractères d'imprimerie de grandeur standardisée. La hauteur d'eau qui correspond à la limite de visibilité du repère exprime le résultat.

c) *Méthode du « Candle Turbidimètre » des Américains*

Cette méthode utilise comme repère une flamme de bougie ou une lampe électrique déterminée.

Nous ne multiplierons pas davantage les exemples de ce genre. Que l'on utilise un repère ou un autre le principe est toujours le même et la méthode ne semble pas gagner en précision.

d) *Méthode du « Geological survey »*

Dans ce procédé, on a d'abord recours à une méthode analogue aux précédentes pour définir l'étalon. Celui-ci est constitué par une eau contenant en suspension 100 milligr. par litre de silice à un degré de finesse tel, qu'un fil de platine de 1 mm. de diamètre, placé à 100 mm. au-dessous de la surface de l'eau, puisse à peine être visible pour l'œil de l'observateur placé à 1 m. 20 au-dessus du plan de mesure. La turbidité d'une telle eau est exprimée par le nombre 100.

Les eaux plus troubles que l'étalon sont diluées avec de l'eau parfaitement claire jusqu'à ce qu'elles donnent la turbidité 100.

La turbidité réelle est alors: $100 \frac{\text{volume étendu}}{\text{volume initial}}$.

Si l'eau est moins trouble que l'étalon, c'est lui que l'on dilue. Le résultat est alors: $100 \frac{\text{volume initial}}{\text{volume étendu}}$.

Le point faible de toutes les méthodes dont nous venons de parler réside dans la définition même de l'étalon. Les résultats dépendent évidemment de l'observateur, de la lumière utilisée, et de la nature du repère. Ces méthodes ne peuvent donner qu'une indication et, plutôt que d'en chiffrer les résultats, mieux vaut se contenter des termes conventionnels du formulaire des Hôpitaux Militaires.

Dans ce groupe des méthodes par absorption, nous nous arrêterons plus spécialement à la technique publiée par M. TOURNEUX (2), Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon. Il emploie un comparateur néphélométrique constitué par deux tubes de polarimètre, l'un plein d'eau distillée, l'autre plein d'eau à étudier, et on interpose au-dessus du tube d'eau distillée des étalons d'opacité réalisés en exposant une même plaque photographique à la même distance d'une même source pendant des temps croissant en progression arithmétique; l'observation est faite en vue plongeante.

A ce procédé simple et pratique, on ne peut guère reprocher que l'emploi de l'œil comme instrument de comparaison, ce qui limite la précision.

2^o Méthode par diffusion.

Nous voulons parler ici de la méthode de DIENERT (3). Elle consiste à mesurer la turbidité d'une eau par le nombre de gouttes de solution alcoolique à 1/1000 de résine Mastic qu'il est nécessaire d'ajouter à une eau distillée parfaitement claire et limpide, pour l'amener au même degré d'opalescence que l'eau en expérience.

L'appareil est constitué par un système optique qui permet de séparer un faisceau lumineux initial en deux faisceaux parallèles et d'égale intensité. Sur le trajet de chaque faisceau, on dispose une cuve en ébonite, munie d'un œilleton en verre, par lequel passe la lumière. Dans la cuve A on introduit 50 cc. d'eau à analyser et dans la cuve B, 50 cc. d'eau distillée aussi optiquement vide que possible. Les particules en suspension

dans l'eau A diffusent de la lumière, et rendent le faisceau lumineux parfaitement visible. On observe en vue plongeante, l'œil de l'observateur étant placé au dessus des cuves. Pour faire la lecture, on comptera le nombre de gouttes de solution de Mastic qu'il faut ajouter pour que le colloïde, né de la précipitation de cette solution par l'eau, diffuse la même quantité de lumière que les particules de l'eau A.

Comme nous l'avons déjà signalé pour les méthodes précédentes, ce procédé, très employé dans les laboratoires, ne peut être précis à cause du manque de sensibilité de l'œil. Peut-être resterait-il aussi à vérifier la constance du nombre et du diamètre des particules que donne la solution alcoolique de résine Mastic dans sa précipitation par l'eau, car la longueur d'onde de la lumière diffusée dépend de la grosseur des particules, et l'œil est inégalement sensible aux différentes longueurs d'onde.

Nous pourrions présenter une critique analogue au procédé THOMAS (4) qui réalise une gamme de turbidités types en précipitant une solution de nitrate d'argent de titre connu par des quantités croissantes d'acide chlorhydrique titré. Il convient de remarquer, qu'il y a certainement des différences dans les précipités, suivant les conditions de précipitation.

3^o Méthode de photométrie physique.

L'appareil présenté au Congrès des Sociétés Savantes, en avril 1932 à Besançon, par M. DONZELOT (5), met en œuvre une méthode de photométrie physique et permet de réaliser des mesures précises et absolument indépendantes de l'observateur.

La supériorité des méthodes de photométrie physique sur les méthodes visuelles est un fait démontré. En effet, les méthodes visuelles ne sont applicables que dans une zone spectrale restreinte allant de $0 \mu 4$ à $0 \mu 8$ en longueur d'onde, et l'œil est surtout sensible dans le jaune vert $0 \mu 555$. Leur précision est limitée: l'œil ne distingue plus entre deux plages voisines, quand leurs éclaircissements, quoique différents, sont assez proches. La variation d'éclaircissement à laquelle l'œil est sensible est d'ailleurs fonction de la valeur absolue de cet éclaircissement. L'œil

amène, pour un expérimentateur exercé (6), une erreur relative moyenne sur l'éclairement E de

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{0,005}{E}$$

qui n'est petite que si E atteint une valeur assez grande.

On démontre d'autre part que, dans une mesure faite par une méthode physique, l'erreur due à l'appareil, est de la forme:

$$\frac{\Delta E}{E} = K \cdot \frac{i}{I_0} \cdot f(t)$$

t étant la transparence du milieu, I_0 l'intensité du flux initial, i la différence d'intensité entre le flux initial et le flux observé.

Le récepteur est ici sensible à la valeur absolue des flux à comparer. Remarquons que l'expression de $\frac{\Delta E}{E}$ comprend I_0 au dénominateur. On peut donc songer à augmenter la précision en augmentant le flux initial, mais ici les conditions expérimentales peuvent nous limiter. Ainsi, dans notre appareil, on utilise, comme récepteur, une cellule photo-électrique et il y a lieu de tenir compte de la limite d'émission de notre cellule.

Principe de l'appareil

On envoie sur une cellule photo-électrique un faisceau de lumière parallèle et on interpose sur le trajet de ce faisceau un tube qui renferme l'eau à examiner. Du courant débité avant et après interposition du tube on déduira la variation d'intensité du faisceau lumineux. La méthode employée est donc une méthode par absorption.

Généralités sur les cellules photoélectriques (7)

Sous le nom de cellules photo-électriques, nous désignerons uniquement les cellules photo-émettrices.

Dans ces cellules, le phénomène photoélectrique consiste en l'émission d'électrons par une surface métallique frappée par

la lumière. Dans notre appareil, nous utilisons cette émission pour transformer des variations d'énergie lumineuse en variations d'énergie électrique.

En effet, si le métal éclairé est relié au pôle négatif d'une batterie d'accumulateurs, et si un conducteur voisin est relié au pôle positif, un courant, dû au déplacement des électrons, circulera dans le circuit, et les variations de courant seront liées aux variations de l'éclairement.

Pour une surface émettrice placée dans le vide, deux lois dominent l'émission photoélectrique:

1° L'expérience a montré, et la théorie quantique a expliqué, qu'il n'y avait pas d'effet photoélectrique, si la longueur d'onde du rayonnement excitateur n'était pas inférieure à une certaine longueur d'onde. L'équation d'EINSTEIN:

$$\frac{1}{2} m v^2 = h \nu - h \nu_0$$

où v est la vitesse d'émission des électrons, m leur masse,

h la constante de PLANCK,

ν la fréquence excitatrice,

ν_0 la fréquence seuil,

met en évidence ce fait.

2° L'émission photoélectrique normale pour une énergie lumineuse $n\omega$ transportée par une longueur d'onde λ est n fois plus grande que l'émission due à l'énergie lumineuse ω transportée par la même longueur d'onde. En d'autres termes, le nombre des électrons émis est proportionnel au flux lumineux.

Les cellules du commerce sont constituées par une ampoule en verre ou en quartz, une partie de la surface interne étant recouverte par un dépôt métallique (Sodium, Potassium, Césium, ou Rubidium). Ce dépôt, effectué soit par distillation dans le vide, soit par électrolyse, est relié à une électrode qui sort de l'ampoule et constitue la cathode. En face, une autre électrode (fil rectiligne, anneau ou treillis métallique) constitue l'anode. Une fenêtre, ménagée en regard de la cathode, permet l'admission de la lumière.

Remarquons que l'émission photoélectrique est pratiquement indépendante de la température, mais elle dépend, dans le cas

de la lumière polarisée, de la direction du plan de polarisation par rapport au plan tangent à la surface émettrice au point considéré.

Dans les cellules à vide que nous venons d'envisager, le courant augmente avec le potentiel accélérateur, mais on observe une saturation obtenue, en général, pour des potentiels assez peu élevés. Le courant obtenu dans ces cellules est extrêmement faible, aussi est-il nécessaire de l'amplifier. Deux procédés peuvent être employés, isolément ou simultanément: l'un utilise l'ionisation par choc, l'autre fait appel aux lampes à trois électrodes.

Supposons en effet, que la cellule soit remplie d'un gaz sous une faible pression, les électrons, animés d'une vitesse suffisante peuvent, dans leur choc avec les molécules de gaz, en détacher des électrons, ce qui augmente ainsi le nombre final des électrons arrivant sur l'anode. Ces cellules sont dites cellules à gaz.

Nous indiquerons, dès maintenant, que ces cellules sont en général beaucoup plus sensibles que les cellules à vide, mais elles sont moins fidèles. L'amplification ainsi obtenue dépend de la nature du gaz et de sa pression. On utilise souvent les gaz rares, pour lesquels le choc des électrons sur les molécules peut être considéré comme un choc élastique.

Il est essentiel de souligner que, dans l'emploi des cellules à gaz, il faut toujours mettre en série une résistance élevée, supérieure à 100.000 ohms, pour éviter que, dans le cas où la cellule s'illuminerait par suite du passage d'une effluve (si le potentiel accélérateur est plus grand que le potentiel d'illumination), il n'y ait destruction de la surface active de la cellule par l'arc qui s'amorce à ce moment.

Règles d'utilisation d'une cellule photoélectrique

Les considérations suivantes sont le résultat des nombreuses expériences réalisées depuis quelques années par le laboratoire de Physique de la Faculté de Pharmacie. Ce sont des règles générales dont il est essentiel de tenir compte dans la réalisation de tout appareil utilisant une cellule photoélectrique.

1° *Le faisceau lumineux ne doit subir aucune variation de position ou d'étendue.*

Ceci proscriit tout milieu réfringent traversé sous une incidence oblique. La figure 1 montre en effet que l'interposition d'un tel milieu qui fait passer le cône, émis par la source et reçu par la cellule, de la position 1 à la position 2, ne permet pas de comparaisons, le flux initial étant modifié.

2° *Le faisceau lumineux ne doit subir aucune variation de l'état de polarisation.*

Nous avons déjà signalé que l'émission photoélectrique dépend, dans le cas de la lumière polarisée, de la direction du vecteur lumineux par rapport à la surface de la cathode.

Ceci proscriit tout dispositif dans lequel la lumière tombant sur la cellule présente un pourcentage plus ou moins grand de lumière polarisée et une orientation variable du vecteur lumineux (réflexions, diffusions, ne présentant pas un caractère de fixité absolue).

3° *Éliminer toute perturbation sur le trajet du faisceau lumineux.*

Le milieu liquide dont on veut chercher le pouvoir absorbant doit être en effet limité par des glaces. Pour éliminer les causes d'erreur provenant de l'absorption due à ces glaces, ou de la lumière qu'elles peuvent faire perdre par réflexion, on effectuera la mesure sous deux épaisseurs différentes: une première mesure sera faite avec une certaine hauteur d'eau et une deuxième avec 10, 20, 40 cm. de hauteur d'eau en moins. Dans ces conditions, la différence traduira uniquement l'absorption due aux 10, 20, 40 cm. d'eau, les phénomènes secondaires se trouvant ainsi éliminés.

4° *Employer toujours la même partie de la cathode dans une cellule.*

Le pouvoir d'émission d'une cellule peut en effet varier, suivant la partie utilisée de la cathode. Toutefois, il est reconnu

que cette erreur, due au manque d'uniformité du dépôt métallique, n'est pas très importante.

Nous n'en avons pas moins tenu à éliminer cette cause d'erreur pour notre appareil en donnant toujours la même position à la cellule par rapport au faisceau de lumière parallèle dont on a rigoureusement fixé, une fois pour toutes, l'orientation.

5° Protéger la cellule contre toute radiation parasite ou diffuse.

Nous avons réalisé cette condition en employant un tubage complet dès l'entrée du faisceau dans l'appareil. Ces tubes ont tous été vernis intérieurement avec un noir mat et résistant, qui évite la réflexion de la lumière diffusée par les particules.

6° Prendre toutes précautions nécessaires d'isolement électrique.

L'isolement doit être tel que les fuites restent négligeables dans toutes les conditions d'emploi (été, hiver, jours de pluie, etc.).

De plus, pour éviter toute influence électrostatique extérieure, la cellule sera blindée, le blindage étant mis à la terre. Il est évident que les fils de connexion doivent également être blindés et la batterie d'alimentation soigneusement isolée.

7° Tenir compte du « traînage » de la cellule (8).

C'est surtout dans les cellules à gaz que se produit le phénomène du traînage. Il convient donc d'attendre un certain temps pour que la cellule se mette en équilibre, dans les conditions de la mesure. Il est à remarquer que nous avons l'habitude de toujours laisser la cellule sous tension et d'allumer la lampe d'éclairage une heure avant de faire les mesures.

8° Tenir compte de la « fatigue » de la cellule.

Il est possible d'observer, dans le cas des cellules à gaz, le phénomène de la « fatigue » qui consiste bien plutôt en une

modification de l'émission. Il se produit avec les potentiels utilisés habituellement pour obtenir une amplification suffisante, à l'aide de l'ionisation par choc. CAMPBELL rapporte ce phénomène à l'impact des ions positifs sur la cathode.

Production du faisceau exciteur

La source lumineuse est une ampoule de 12 volts, 50 watts qui éclaire un diaphragme placé au foyer d'un objectif d'ouverture assez grande. La mise au foyer doit être assurée très exactement, car il importe, comme nous venons de le voir, d'avoir un faisceau parallèle.

D'autre part, la constance du flux lumineux doit être assurée aussi rigoureusement que possible.

Une bonne lampe à bas voltage, convenablement vieillie, a son flux lumineux fixe à $1/400^{\circ}$ près, si la tension reste constante à 0 v. 01 près. Pour nos mesures, nous avons utilisé des accumulateurs de grande capacité (90 AH.), sur leur palier de décharge et qui permettent, dans ces conditions, d'obtenir la constance de tension désirée, pendant la durée d'une mesure. Cette tension est du reste contrôlée avant et après chaque mesure et il semble que la limite de stabilité du flux est plutôt dûe à la lampe elle-même qu'à la source d'énergie.

Remarquons qu'il est absolument impossible d'utiliser le secteur pour alimenter la lampe, à cause des trop grandes variations de tension qu'il présente.

Notons enfin qu'une lampe vieillie donne une émission spectrale qui ne change pratiquement plus, pas assez du moins pour que les mesures faites avec elle ne soient comparables, à la précision des lectures.

Amplification du courant photoélectrique (9)

Du fait que les cellules ne débitent qu'un courant de très faible intensité, ressort la nécessité d'amplifier ce courant si l'on veut faire des lectures précises et faciles. Depuis deux années le laboratoire de Physique de la Faculté de Pharmacie a

plus spécialement concentré son activité sur cette question, activité à laquelle nous devons la réalisation du montage de l'amplificateur, dont dépend la stabilité de l'instrument de mesure (10). De nombreuses expériences ont montré l'importance capitale de l'amplificateur dans tout appareil utilisant un dispositif photoélectrique. En effet les cellules sont suffisamment au point pour que les difficultés réelles résident à peu près uniquement dans l'évaluation correcte du courant photoélectrique.

Emploi de la triode

Le courant photoélectrique i_c passe dans une résistance élevée R_g , une variation Δi_c de ce courant entre les deux extrémités de cette résistance amène une variation de potentiel:

$$\Delta e_g = \Delta i_c \times R_g$$

Si on applique cette variation de potentiel entre grille et filament d'une lampe à trois électrodes, on fait correspondre à la variation Δe_g du potentiel de grille une variation Δi_p du courant plaque qui est, si P est la pente de la lampe:

$$\Delta i_p = P \times \Delta e_g$$

que l'on peut écrire:

$$\Delta i_p = P \times R_g \times \Delta i_c$$

Le pouvoir amplificateur théorique α de la lampe est alors:

$$\alpha = \frac{\Delta i_p}{\Delta i_c} = P \times R_g$$

1° Il convient de faire intervenir l'appareil placé à la sortie et qui sert à mesurer Δi_p .

Soit σ la sensibilité de ce galvanomètre et R_p sa résistance;

Soit ϱ la résistance interne de la lampe;

On démontre que la sensibilité en ampères du montage est alors:

$$S. \text{ int} = \frac{P}{1 + \frac{R_p}{\varrho_p}} \times \sigma \times R_g$$

2° Dans ce calcul on suppose que le courant photoélectrique débite sur la résistance R_g seule; en réalité, existent en parallèle sur R_g : la résistance de l'espace filament grille ρ_g et les résistances de fuite (culot, socle). Si ces dernières peuvent être rendues négligeables, il n'en est pas de même de la première et l'expression complète doit s'écrire:

$$S. \text{ int} = \frac{P}{1 + \frac{R_p}{\rho_p}} \times \sigma \times \frac{1}{\frac{1}{R_g} + \frac{1}{\rho_g}}$$

ou

$$S. \text{ int} = \frac{P}{1 + \frac{R_p}{\rho_p}} \times \sigma \times \frac{R_g}{1 + \frac{R_g}{\rho_g}}$$

On aura donc une grande sensibilité en intensité si: P et

σ sont grands, R très élevé et $1 + \frac{R_g}{\rho_g}$ petit.

Nous remarquons donc que σ doit être grand. Or, le courant constant des lampes étant de l'ordre du milliampère, il ne serait pas possible de placer dans le circuit plaque un appareil à grande sensibilité, si l'on ne compensait pas ce courant constant.

Le premier procédé de compensation adopté pour notre montage consistait à envoyer dans l'appareil de mesure, et en sens contraire, un courant dû à une batterie d'accumulateurs, et réglé par un rhéostat.

Mais l'expérience a montré que si l'appareil de mesure a quelque sensibilité, ou la lampe une pente un peu élevée, ce dispositif n'est pas stable. D'ailleurs la question de l'amplification des courants continus est, pour les dispositifs employés, une question de stabilité beaucoup plus que de sensibilité. La sensibilité peut pratiquement s'obtenir à volonté avec des étages successifs d'amplification; il en est autrement de la stabilité.

Sur les conseils de M. le Professeur DONZELOT, et suivant l'idée que pour éviter toute irrégularité il convient de compenser le courant plaque d'une lampe par le courant plaque

d'une lampe identique, nous avons réalisé un montage en pont à triodes (11) (schématisé fig. 2), légère variante des montages proposés dans la littérature anglaise (12). Comme modifications nous signalerons:

1° L'adjonction dans le circuit de grille de la deuxième lampe de la résistance R'_g pour rendre le montage plus symétrique.

2° Le retour du — haute tension au + basse tension.

3° L'inversion des polarisations des deux lampes L_1 et L_2 .

Parmi les avantages du montage à deux lampes, on doit noter, outre la compensation pour les changements de tension du filament, la compensation approximative pour le vieillissement des lampes. En effet le courant plaque d'une lampe diminue avec le temps, tous autres facteurs restant constants. Ceci est dû vraisemblablement à une évolution de la structure du filament.

Dans le montage proposé, il est évident que, grâce à l'emploi de deux lampes du même type, de même origine, et mises en service simultanément, on peut supposer que le vieillissement sera à peu près le même et que l'équilibre une fois établi persistera.

D'autre part l'alimentation des filaments et des grilles par un même potentiomètre permet de réaliser une compensation pour les variations de la batterie filament.

Une diminution Δf de la tension aux bornes de ce potentiomètre, amène une diminution du courant plaque $\Delta i_1 = K_1 \Delta f$ par l'action sur le filament et une augmentation $\Delta i_2 = K_2 \Delta f$ par l'action sur la tension grille. On conçoit qu'ainsi il puisse y avoir — et on l'observe effectivement par l'expérience — des valeurs convenablement choisies des tensions pour lesquelles la compensation exacte puisse avoir lieu, d'où une stabilité parfaite de l'amplificateur. Cette stabilité nous permet l'emploi comme instrument de mesure d'un appareil G à pivot, sensible à 10^{-7} ampères.

C'est un microampèremètre Carpentier qui donne 100 divisions pour 0 milli 1 et dont la lecture (aiguille à couteau et miroir de parallaxe) se fait facilement à $1/10^6$ division.

Méthode de mesure

Dans le cas des cellules à vide, le courant débité par la cellule, est proportionnel au flux lumineux pour une longueur d'onde donnée. Pour une cellule à gaz par contre, il n'y a pas proportionnalité entre les courants débités et les flux lumineux.

Nous utilisons une cellule à gaz (Rhône-Poulenc, type P. S.) et dans ce cas, même en se plaçant après une étude approfondie dans la partie rectiligne des caractéristiques de l'amplificateur, il n'est pas possible de prendre, comme rapport des flux transmis, le rapport des déviations du microampèremètre, placé à la sortie de l'amplificateur.

Nous avons donc opéré de la façon suivante: le microampèremètre étant mis au zéro pour une certaine hauteur d'eau, on diminue la hauteur de la colonne d'eau d'une quantité fixée: soit 40 cm. L'aiguille passe alors de 0 à la division 48, par exemple. On ramène au zéro au moyen d'un coin photométrique étalonné placé sur le trajet du faisceau, entre la source et la colonne d'eau.

Dans ces conditions la cellule fonctionne uniquement comme appareil de zéro.

Le coin photométrique est formé de deux coins identiques; l'un est fixe, l'autre peut glisser, en se superposant parallèlement au premier, au moyen d'une vis à pas de 100 dont la tête assez grosse permet d'apprécier le $1/50^{\circ}$ de tour.

La densité optique varie de 0 à 2, en 13 cm. du coin. On déplace donc le coin mobile de façon à accroître la densité optique, jusqu'à ce que l'on ait dans le faisceau une augmentation de densité, correspondant exactement à la diminution due à la disparition des 40 cm. d'eau.

Avec un bon réglage de l'amplificateur, pour une eau de Moselle moyenne, on était amené à faire 40 tours environ; le retour au zéro pouvant être déterminé avec le microampèremètre avec une approximation de $1/10^{\circ}$ de division et la position du coin étant fixée à mieux que $1/20^{\circ}$ de mm. sur 40 millimètres.

La fidélité de notre appareil est montrée:

1° Par l'obtention de nombres identiques au $1/200^{\circ}$ près dans des mesures successives.

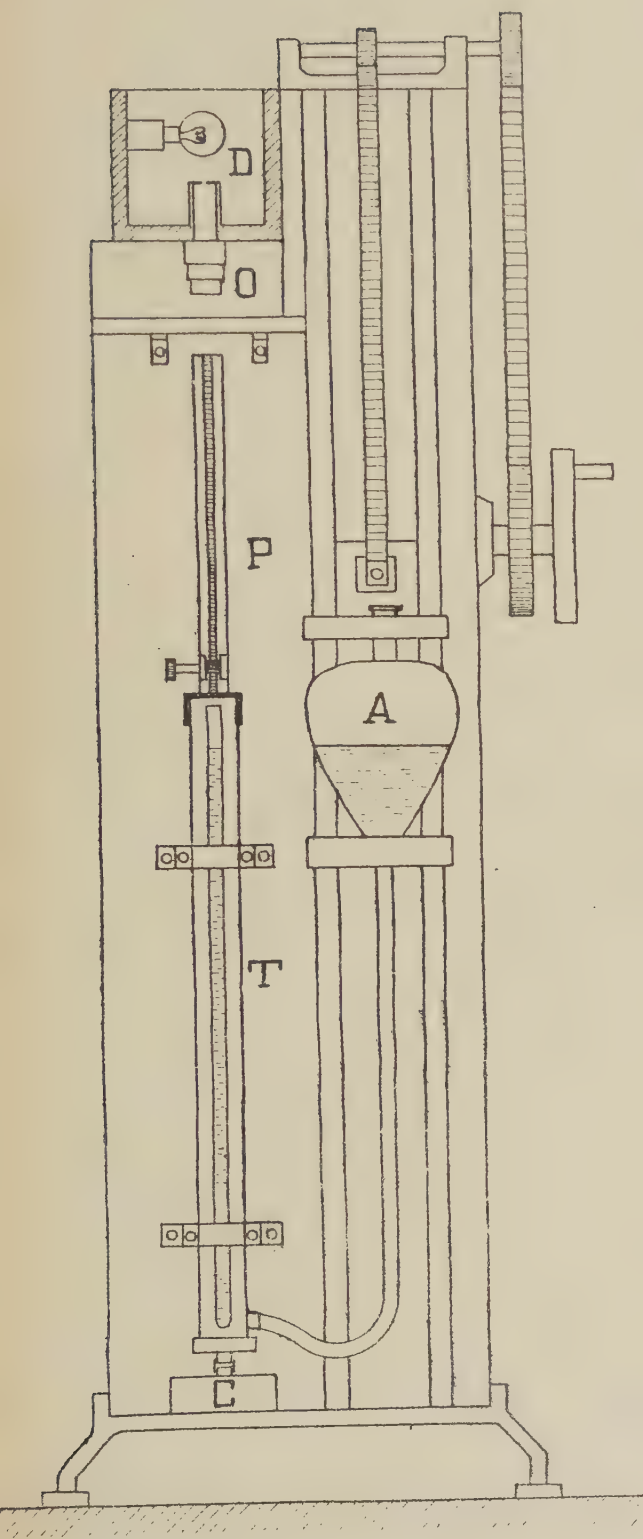


fig. 3.



fig. 4.

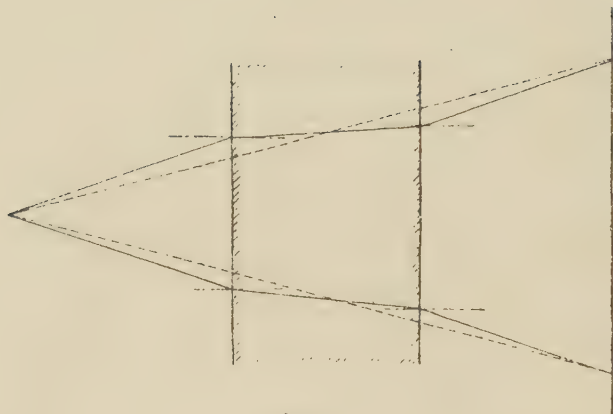


fig. 1.

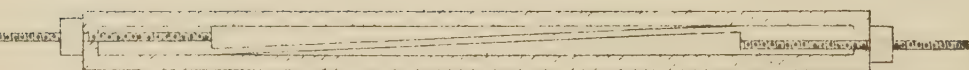


fig. 5.

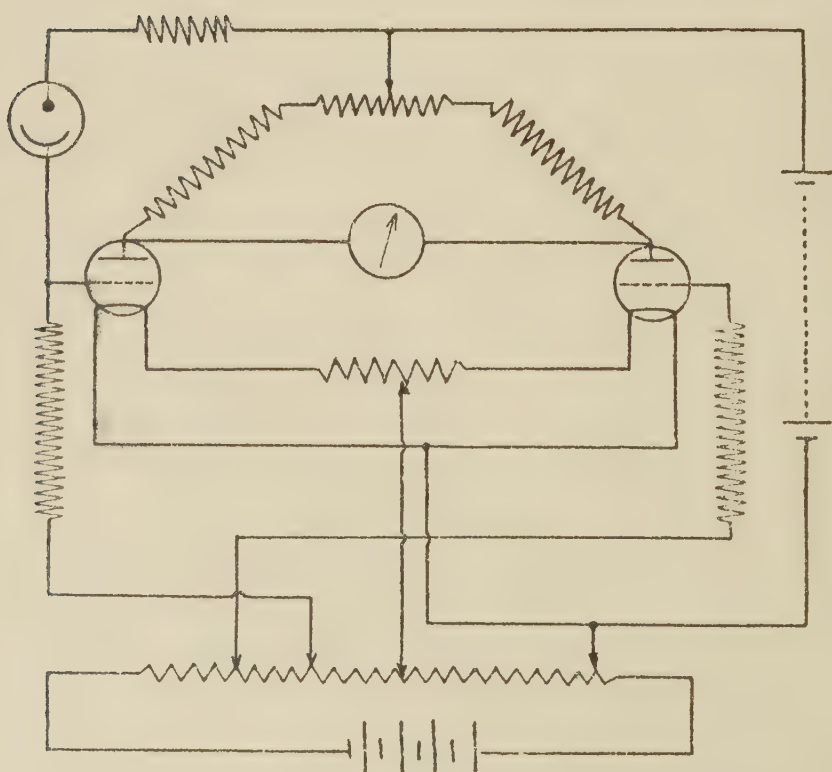


fig. 2.

2° Par le retour au zéro du microampèremètre à $1/10^6$ de division près, si l'on réintroduit la hauteur d'eau initiale, le coin étant ramené à sa position de départ.

Les coins ont été livrés par les établissements ZEISS, avec leurs courbes d'étalonnage; ils sont vendus comme neutres, c'est-à-dire qu'ils possèdent la même absorption dans tout le spectre. Ils sont vraisemblablement constitués par de la gélatine teintée coulée entre 2 glaces travaillées.

Nous avons renoncé à l'emploi des plaques photographiques comme étalon d'opacité, à cause de l'absorption sélective et de la diffusion de la lumière par la couche opaque.

Description de l'appareil

La figure 3 donne un schéma de la réalisation pratique de l'appareil.

Le faisceau lumineux émis par l'ampoule éclaire un diaphragme dont on règle et fixe la position, une fois pour toutes, au foyer de l'objectif, de façon à réaliser un faisceau de lumière parallèle. Ce faisceau, convenablement centré, va à la cellule après avoir traversé la colonne d'eau contenue dans un tube métallique (fig. 4). Un tube de caoutchouc réunit ce tube métallique à une ampoule qui permet de faire varier le niveau d'eau dans le tube, quand on déplace le piston plongeur. Ce piston est constitué par un tube de laiton, verni intérieurement en noir mat, et gradué extérieurement de 0 à 45 cm. Ses déplacements sont commandés par une crémaillère. L'ensemble est adapté sur le tube par une douille de 10 cm. de hauteur qui permet un centrage excellent du piston.

Ce piston a une course utile de 40 cm., mais pour une eau moyennement trouble, 20 cm. suffisent largement à faire une mesure précise; pour une eau très trouble, 10 cm. Dans ce cas, il convient même de remarquer que ce serait une erreur de faire la mesure sur 40 cm., car le flux lumineux à la sortie du tube est très faible et on ne se trouve plus dans une zone de bonne sensibilité de la cellule.

Nous avons vérifié que dans l'intervalle utilisé, la loi de LAMBERT BEER est applicable. La densité optique entre 0 et 40 cm. est proportionnelle à l'épaisseur. Nous avons adopté

comme indice de turbidité la densité optique de 1 m. du liquide étudié.

Il suffira donc de rapporter au mètre les résultats trouvés pour h centimètres en les multipliant par le facteur $\frac{100}{h}$.

Précision des résultats

1° *Mesures absolues.* — L'instrument de mesure est le coin étalonné, la cellule ne servant que d'appareil de zéro. La précision d'une mesure absolue dépend donc de la précision avec laquelle le coin a été étalonné.

Les établissements ZEISS en donnent les cotes avec deux décimales: Pratiquement nous n'admettrons pas une précision supérieure au $1/100^e$ pour des mesures absolues.

2° *Mesures relatives.*

Dans notre cas, où nous n'avons en vue que des mesures comparatives, la précision des résultats est supérieure.

a) Le microampèremètre Carpentier nous permet d'apprécier $1/10^e$ de division. Pour une déviation moyenne de 40 divisions nous aurons donc une erreur relative de $1/400^e$.

b) La lecture des hauteurs d'eau peut facilement être faite à $1/2$ millimètre près, soit pour 40 cm., une erreur relative de $1/800^e$.

c) Quant aux déplacements du coin, on les apprécie facilement à mieux que $1/10^e$ de mm. près, soit pour un déplacement de 4 cm. une erreur relative de $1/400^e$.

La précision serait plutôt limitée par la constance du flux lumineux. Néanmoins, pour des mesures comparatives, on peut affirmer la deuxième décimale de l'indice de turbidité.



CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE (13) DES EAUX D'ALIMENTATION

Dans le but de suivre, par une méthode rapide et d'application facile, les variations de minéralisation des eaux d'alimentation, nous nous sommes proposé de mesurer la résistance de ces eaux au passage du courant électrique.

Cette résistance R est fonction de la résistivité ϱ , de la longueur l et de la section s du conducteur :

$$R = \varrho \frac{l}{s}$$

Dans l'expression des résultats, on a coutume de substituer à la résistivité ϱ des liquides, leur conductibilité C , qui en est l'inverse :

$$C = \frac{1}{\varrho}$$

On voit donc que pour connaître ϱ et par suite C , il faut mesurer R et déterminer la valeur du rapport $\frac{l}{s}$

Quand il s'agit d'un liquide, on utilise un vase muni de deux électrodes qui se font vis à vis et qui sont maintenues à une distance constante l'une de l'autre. En construisant des électrodes rigoureusement planes et en assurant un parallélisme parfait, il serait théoriquement possible de connaître l ; mais, même dans ce cas, la section serait mal définie, car le courant ne passe pas uniquement dans le parallélépipède imaginaire limité par les électrodes. On ne possède en effet aucune donnée précise sur le trajet réel des lignes de force du champ électrique.

On tourne la difficulté en mesurant, entre les mêmes électrodes et à la même température, la résistance R' d'un liquide dont on connaît ϱ' (d'une solution titrée de KCl par exemple) et nous écrirons :

$$R' = K. \varrho'$$

où le facteur K , que nous appellerons « Constante des électrodes » serait égal à $\frac{1}{s}$ si ces grandeurs étaient mesurables.

Connaissant ρ' , la mesure de R' nous permettra de calculer K . Dans cette nouvelle nomenclature nous devons écrire:

$$\rho = \frac{R}{K}$$

Cette constante K étant déterminée, les mesures de conductibilité se ramènent à des mesures de résistance.

Principe de la mesure de R

Pour mesurer R , nous avons adopté la méthode de KOHLRAUSCH, qui n'est autre qu'une adaptation de la méthode classique du pont de WHEATSTONE à la mesure de la résistance des électrolytes. Le pont de WHEATSTONE, alimenté par une source de courant continu, est en effet inutilisable pour mesurer la résistance des électrolytes, qui sont des milieux polarisables. C'est pourquoi KOHLRAUSCH a proposé les modifications suivantes:

1° *Alimentation du pont par une source de courant alternatif.*

En employant le courant alternatif, on évite en effet les phénomènes de polarisation car, dans ce cas, chaque électrode fonctionnant alternativement comme anode et comme cathode, les produits d'électrolyse se détruisent, et même, si la fréquence est suffisante, ces produits n'apparaissent plus.

2° *Emploi du téléphone comme appareil de zéro.*

En effet, le galvanomètre employé dans le pont de WHEATSTONE ne peut plus servir d'appareil de zéro et doit être remplacé par un appareil sensible au courant alternatif.

Le pont de KOHLRAUSCH, sous sa forme habituelle, a sa première branche constituée par la résistance x à mesurer, la

deuxième branche est formée par une résistance connue R et les deux autres branches sont réalisées par un fil résistant bien calibré et tendu, le long duquel on peut déplacer un contact mobile. Celui-ci détermine sur le fil des longueurs l_1 et l_2 qu'une règle graduée, placée parallèlement, permet de mesurer.

Pour effectuer une mesure, on place d'abord le contact mobile vers le milieu du fil et on réalise avec une boîte la résistance R qui affaiblit le plus le son dans le téléphone. Il suffit ensuite de déplacer le contact le long du fil jusqu'à ce qu'il y ait extinction ou plus exactement jusqu'à ce que l'on ait un minimum de son dans le téléphone.

L'équilibre du pont est alors réalisé, et la relation

$$\frac{R}{x} = \frac{l_1}{l_2}$$

est alors satisfaite.

Montage du pont

Nous avons d'abord réalisé le montage du pont théorique que nous venons de décrire. Dans ces conditions, on n'arrive pas à obtenir le silence absolu au téléphone; on observe seulement un minimum de son plus ou moins net.

De plus, ce minimum « traîne » sur une longueur du fil d'autant plus grande que la résistance à mesurer est elle-même plus grande.

Deux conditions s'imposent donc pour le montage du pont, si l'on veut effectuer des mesures précises:

1° Rendre le téléphone silencieux, lorsque l'équilibre est réalisé dans le pont.

2° Préciser la position du contact mobile qui correspond à cet équilibre.

Pour réaliser ce double but, nous avons introduit, dans notre montage, les modifications suivantes:

a) *Adjonction d'un condensateur variable.*

Nous avons écrit sous la forme $\frac{R}{x} = \frac{l_1}{l_2}$ l'équation qui correspond à l'équilibre du pont; mais on suppose implicitement, dans ce cas, que les résistances sont des résistances mortes, sans self ni capacité. Or, les résistances l_1 et l_2 sont bien dépourvues de self et de capacité, mais il n'en est pas de même de R et de x pour lesquels l'équation d'équilibre du pont doit comporter un terme correctif, si l'on veut que le téléphone soit silencieux. Nous devons dans cette équation remplacer R et x respectivement par:

$$R + j \left(\lambda \omega - \frac{1}{\gamma \omega} \right) \text{ et } x + j \left(\lambda' \omega - \frac{1}{\gamma' \omega} \right)$$

ω étant la fréquence d'interruption utilisée.

$$j = \sqrt{-1}$$

λ , γ et λ' , γ' représentent les selfs et capacités des branches R et x .

En première approximation, nous avons le droit de négliger λ , ω et λ' , ω' devant R et x . Restent γ et γ'

L'équilibre du pont établi par la condition:

$$\frac{R}{x} = \frac{l_2}{l_1}$$

ne subsiste que si l'on a la condition supplémentaire

$$\frac{R}{x} = \frac{\gamma'}{\gamma}$$

Comme nous ne savons pas a priori si l'on aura $\gamma > \gamma'$ ou $\gamma < \gamma'$ ce qui dépend de la cuve utilisée, il sera nécessaire, pour remplir cette deuxième condition et obtenir un silence réel au téléphone, de pouvoir shunter l'une ou l'autre des branches R et x par une capacité variable. Ceci nous a conduit à l'adjonction d'un condensateur C qu'un commutateur S permet de placer en dérivation sur l'une ou l'autre branche du pont.

b) *Adjonction d'un amplificateur.*

Cette adjonction, réalisée en courant continu par J. A. C. TEEGAN puis par MM. DONZELOT et DIVOUX, a été faite, pour les courants alternatifs, dès l'utilisation des triodes.

LORENTZ et KLAUER (14) ont démontré que l'amplification du courant permet de préciser nettement la position du silence.

Ils comparent l'intensité du son, au voisinage du minimum, avec et sans amplificateur. Le résultat, traduit par des courbes, montre que, sans amplificateur, l'intensité du son croît lentement à mesure que l'on s'écarte de la position d'équilibre; c'est ce que nous avons appelé le « traînage » du minimum. Avec amplificateur, au contraire, dès que l'on s'écarte de la position d'équilibre, le son prend brusquement presque toute son intensité.

À la suite de ces travaux, beaucoup d'auteurs ont proposé des schémas d'amplificateurs et, pour notre part, nous en avons successivement réalisé trois:

Le premier, un amplificateur à une lampe, réduisait sensiblement le « traînage » du minimum, mais sans grande amélioration du silence.

Nous avons ensuite essayé un amplificateur basse fréquence, à deux étages, du type normal, avec lampe de puissance comme lampe de sortie. De cette façon, quand le vibreur est bien réglé, nous obtenons une extinction très nette à un centimètre près dans le montage définitif.

Nous avons enfin réalisé un amplificateur à trois lampes (un étage normal et un étage push-pull) qui n'a pas permis de meilleures mesures.

On entendait, avec force, un son parasite, de fréquence voisine de 600, qui, bien que différent du son musical du vibreur, n'en rendait pas moins les lectures difficiles.

Dans la réalisation d'un amplificateur, on est en effet limité par le fait que, malgré toutes les précautions habituelles de blindage, une puissante amplification du son entraîne également une amplification des bruits parasites très gênants pour les lectures. Par contre, une amplification moins puissante, mais donnant un minimum plus silencieux, peut permettre des mesures plus précises.

C'est pourquoi nous avons adopté l'amplificateur à deux lampes schématisé fig. 2, et nous avons trouvé, dans une troisième modification, la précision réelle que nous désirions.

c) *Introduction des résistances R_1 et R_2 .*

Ces résistances, deux boîtes identiques où l'on débouche 100 ohms, sont mises en série, l'une avec L_1 , l'autre avec L_2 (L_1 et L_2 étant les résistances qui correspondent aux longueurs l_1 et l_2 du fil).

L'équation d'équilibre du pont prend alors la forme:

$$\frac{x}{R} = \frac{R_2 + L_2}{R_1 + L_1}$$

Vu la symétrie de notre montage, les deux boîtes étant identiques, on peut admettre que les deux branches ($R_1 + L_1$) et ($R_2 + L_2$) ont même self et même capacité. Nous avons en effet constaté que cette modification ne changeait rien au silence du téléphone et qu'en intervertissant les boîtes, les résultats des mesures restaient les mêmes.

Le seul inconvénient est que les lectures ne peuvent être faites à plus d'un centimètre près, mais, comme nous allons le voir dans le calcul des erreurs possibles, le fil résistant n'est plus utilisé dans ces conditions que comme vernier et cette erreur devient négligeable.

Description des appareils

1° *Alimentation du pont.*

L'alimentation est faite dans la branche V, ce qui a l'avantage de présenter au courant deux dérivations semblables.

La source de courant alternatif est un vibreur classique à fréquence musicale élevée, de l'ordre de 800 périodes par seconde. Il donne, quand il est bien réglé, un son très pur, exempt de crépitements d'étincelles. Nous l'alimentons par une pile Féry.

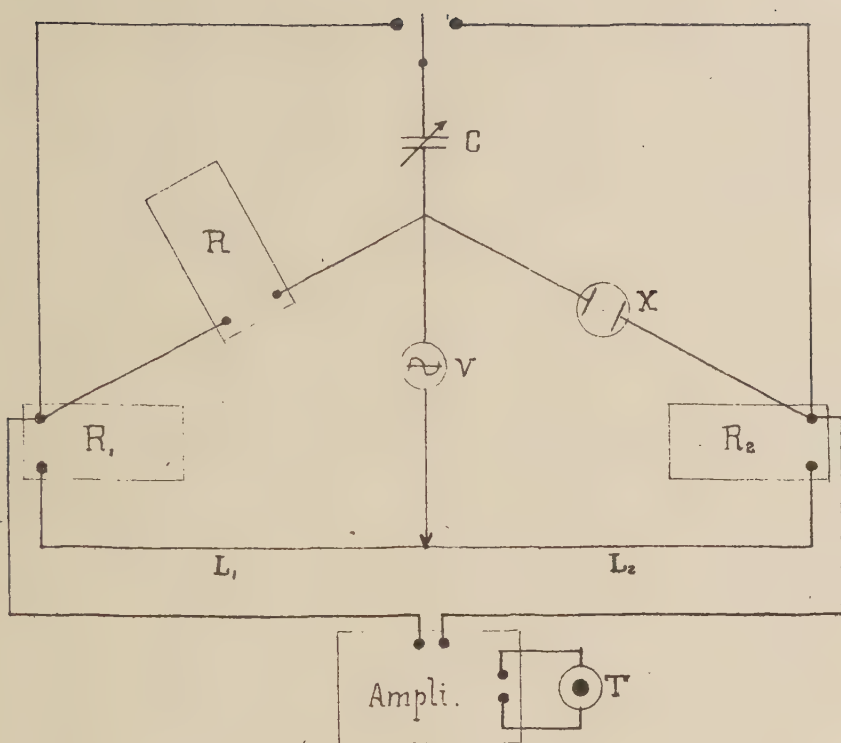


Fig. 6.

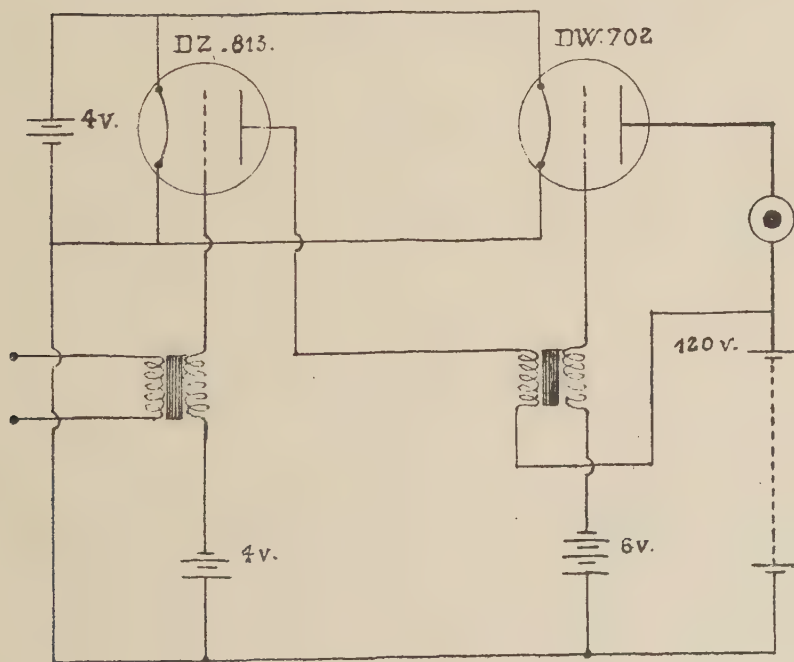


Fig. 7

2° Amplificateur.

Nous employons l'amplificateur schématisé figure 2, dont nous venons de parler.

3° Appareil de zéro.

Nous employons un casque Western à deux écouteurs, particulièrement sensible.

Certains auteurs préconisent l'emploi du haut parleur et nous avons rejeté son utilisation à la suite de l'expérience suivante:

Dans une mesure, R avait une valeur de 700 ohms (valeur moyenne des résistances que nous avons mesurées), le curseur étant placé au minimum et l'écoute étant effectuée au téléphone, il suffisait d'augmenter ou de diminuer R de un ohm pour percevoir, au téléphone, une reprise très nette du son. La même expérience, réalisée en branchant un haut parleur, ne nous a pas donné une variation appréciable de son. L'emploi d'un haut-parleur qui eut nécessité un autre amplificateur, ne nous à pas paru faire réaliser un gain de sensibilité.

4° Boîtes de résistances.

Ce sont des boîtes identiques, du même fabricant dont l'éta-lonnage est donné au $1/10^4$ près.

5° Condensateur.

Nous employons un condensateur ordinaire de T. S. F. de $1/1000^\circ$ μ f. Son isolement à l'ébonite est suffisant, car nous avons d'autres parties du pont qui sont beaucoup moins bien isolées. L'expérience a du reste montré son efficacité.

6° Cellule de conductibilité.

La cellule est formée d'un vase en verre dont les deux tubulures permettent de la brancher dans le pont par un contact au mercure. Les deux électrodes rectangulaires sont en platine platiné et mesurent environ 2 cm. $\times$ 3 cm. Elles sont distantes d'environ 12 mm. et maintenues à cette distance toujours constante, par trois tiges de verre, aux extrémités desquelles elles sont rivées.

7° Le thermostat.

La résistance d'un électrolyte dépendant de sa température, il importe que celle-ci soit aussi fixe que possible pendant la durée d'une mesure. Dans ce but, nous avons choisi la température de 26° parce que toujours supérieure à celle du laboratoire. Elle est contrôlée au moyen d'un thermomètre métastatique de BECKMANN au 1/100° de degré.

Notre thermostat possède un régulateur automatique et un agitateur mécanique. Néanmoins, ce dispositif ne peut maintenir la température constante au 1/100° de degré, aux différents moments de la journée. Dans l'après-midi, la température ne subissait que de très faibles variations et nous nous sommes seulement attachés à ce qu'elle reste constante pendant la durée d'une mesure. Aussi nos résultats comportent-ils différentes indications de température, pour lesquelles nous avons déterminé expérimentalement la correction à faire. Nous avons fait toutes les lectures dans les mêmes conditions, après une demi-heure de séjour dans le thermostat du liquide en expérience, liquide qui était déjà à la température du laboratoire. Notons que la position du thermomètre de BECKMANN et celle de la cuve sont rigoureusement les mêmes dans toutes nos expériences.

Précision des Mesures

1° Dans le cas d'un montage ordinaire de Kohlrausch où ne figurent pas les résistances R_a et R_s .

La relation d'équilibre du pont s'écrit alors:

$$x = R \frac{l_2}{l_1}$$

L'erreur relative sur x est donc de la forme:

$$\frac{dx}{x} = \frac{dR}{R} + \frac{dl_2}{l_2} + \frac{dl_1}{l_1}$$

$\frac{dR}{R} = \frac{1}{10^4}$ garantie donnée par le constructeur de nos boîtes de résistances.

a) Erreur d  e à l'incertitude du minimum.

Pour nous placer dans les conditions les plus favorables, nous admettrons que l'on peut préciser dans ce cas la position du minimum à 1/2 millimètre près. Le fil ayant un mètre de longueur et une résistance totale de $0 \omega 532$, nous avons,

sur l_1 , comme sur l_2 , une première erreur absolue de $\frac{0 \omega 5}{2000} = 0 \omega 00025$.

b) Erreur provenant des inégalités de calibrage du fil.

Pour l_1 et l_2 , nous prendrons la valeur moyenne de 50 cm.

Nous avons donc mesuré la résistance du fil pour les portions 0-100, 0-50, 50-100 et nous avons obtenu les résultats ci-dessous:

	0-100	0-50 = l_1	50-100 = l_2
Résistance mesurée	0,532	0,260	0,272
Valeur du cm moyen. . . .	0,00532	0,00520	0,00544
Erreur de calibrage. . . .		0,00012	0,00012

L'erreur de calibrage se trouve donc être pour l_1 et pour l_2 : $0 \omega 00012$ pour 1 cm., ou $0 \omega 006$ pour 50 cm.

$$\frac{dl_1}{l_1} = \frac{dl_2}{l_2} = \frac{0 \omega 00025 + 0 \omega 006}{0,266} \approx \frac{1}{40}$$

Nous voyons donc, que devant cette erreur, $\frac{dR}{R}$ est négligeable. Donc

$$\frac{dx}{x} = \frac{dl_2}{l_2} + \frac{dl_1}{l_1} \approx \frac{1}{20}$$

2° Dans le cas du montage utilisé.

L'erreur relative sur x est de la forme :

$$\frac{dx}{x} = \frac{dR}{R} + \frac{d(R_2 + L_2)}{R_2 + L_2} + \frac{d(R_1 + L_1)}{R_1 + L_1}$$

Nous avons déjà dit que $\frac{dR}{R} = \frac{1}{10^4}$.

Les erreurs sur $(R_1 + L_1)$ et $(R_2 + L_2)$ sont encore de deux sortes :

a) Erreur due à l'incertitude du minimum.

Nos expériences nous montrent qu'elle était au maximum de 1 cm. Les autres données étant les mêmes que dans le cas précédent, nous écrirons cette première erreur absolue : $\frac{0,5}{100} = 0,005$.

a) Erreur provenant des inégalités de calibrage.

L'erreur absolue est la même que dans le cas précédent. Nous pouvons donc écrire :

$$\frac{d(R_1 + L_1)}{R_1 + L_1} = \frac{\frac{1}{10^4} \cdot 100 + 0,005 + 0,006}{100} = \frac{0,021}{100} = \frac{1}{5000}$$

Pour simplifier le calcul, nous avons supprimé au dénominateur la valeur de L_1 qui est en effet négligeable devant R .

On a ainsi :

$$\frac{dx}{x} = \frac{1}{10^4} + 2 \cdot \frac{1}{5000} = \frac{5}{10^4} = \frac{1}{2000}$$

Ces calculs démontrent l'intérêt de l'adjonction des résistances R_1 et R_2 dans notre montage.

D'autre part, le calcul montre que, dans le premier cas, même en déterminant le minimum à $1/2$ mm. près, on n'obtient qu'une précision illusoire, puisque, par ailleurs, les défauts de calibrage du fil peuvent introduire une erreur beaucoup plus forte. Ainsi, avec le fil dont nous disposons, cette erreur est 20 fois plus grande que celle dûe à l'incertitude du minimum déterminé à $1/2$ mm. près.



NUMÉRATION DES PARTICULES ULTRA MICROSCOPIQUES

Nous comptons les particules en suspension dans un volume donné de l'eau à étudier au moyen de l'ultra microscope de SIEDENTOPF et SZIGMONDY construit par les établissements ZEISS.

On projette latéralement l'image d'une fente horizontale au sein du liquide à étudier et l'on examine verticalement au moyen d'un microscope la tranche ainsi éclairée. Comme son épaisseur est très faible on peut distinguer toutes les particules sans faire varier la mise au point.

L'oculaire du microscope porte un quadrillage qui, en effectuant toujours la numération sur le même nombre de carrés, permet de compter les particules contenues dans un même volume de liquide.

Ces résultats relatifs nous suffisent, puisque nous voulons seulement suivre les variations dans le nombre des particules d'une même eau ou comparer entre elles des eaux différentes. Il serait du reste très facile de calculer les résultats en valeur absolue: le volume dans lequel sont comptées les N particules est en effet le produit de la surface des carrés par l'épaisseur de la tranche éclairée. Cette épaisseur se déduit de la largeur de l'image de la fente observée verticalement; la mesure en est faite à l'aide du quadrillage.

Description de l'appareil

La source de lumière est une lampe à arc autorégulatrice alimentée sous 220 volts continus.

Au moyen d'un objectif de 120 mm. de distance focale on projette l'image d'un diaphragme placé devant la lampe à arc sur la fente dont on peut régler les dimensions par deux vis. La vis de réglage d'épaisseur est munie d'un tambour gradué. D'autre part, il est possible de faire tourner la fente de 90° ce qui est nécessaire pour l'étalonnage.

L'image de la fente est finalement projetée dans une petite cuve qui renferme l'eau à essayer. Cette projection est réalisée

par l'intermédiaire d'un microscope horizontal qui donne de la fente une image réelle dont les dimensions sont sensiblement réduites dans le rapport de 40 à 1.

La cuve parallélipipédique contenant le liquide est munie dans sa partie médiane de deux fenêtres en quartz; l'une destinée au passage de la lumière incidente, l'autre permettant l'observation au microscope.

Le système optique du microscope d'observation est le suivant:

objectif à immersion à eau 40.

oculaire orthoscopique 17 x.

Le grossissement est de 680 diamètres pour une longueur de tube de 160 millimètres.



MESURE DES TENSIONS SUPERFICIELLES

Parmi les méthodes habituellement employées pour la mesure des tensions superficielles: méthode des tubes capillaires de Jurin, méthode de Tate (Pipette de Duclaux), méthode d'arrachement, nous avons choisi cette dernière et adopté pour nos mesures la technique et l'appareil de Lecomte du Nouy (15).

Cet appareil permet en effet une grande rapidité dans les mesures, son étalonnage est facile et il donne directement, par une simple lecture, la tension superficielle exprimée en dynes-cm. La précision des mesures est de l'ordre de $1/10^e$ de dyne. Nous remercions ici M. FALLOT, de la Faculté des Sciences de Strasbourg, d'avoir bien voulu nous prêter cet appareil.

Principe de la méthode d'arrachement

Pour arracher un anneau placé à la surface d'un liquide il faut exercer une force f proportionnelle à la tension superficielle A du liquide considéré et au périmètre l de l'anneau.

$$f = A \cdot 2l$$

le périmètre l étant multiplié par 2 puisqu'il se forme 2 films liquides l'un extérieur à l'anneau, l'autre intérieur.

$$\text{Donc: } A = \frac{f}{2l}$$

On exprime f en dynes, l en centimètres; la tension superficielle A est ainsi évaluée en unité C, G, S, c'est-à-dire en dynes-cm.

Description schématique de l'appareil de M. Lecomte de Nouy

L'anneau est suspendu à un fléau qui est lui-même solidaire d'un fil de torsion dont il convient de régler la tension de façon à n'observer aucun fléchissement au point d'attache du

fléau. Ce fil, une simple corde à piano de 0,25 mm. de diamètre, doit tout d'abord être étalonné.

Pour faire une détermination, on augmente la torsion du fil jusqu'à ce qu'elle fasse équilibre à la tension superficielle du liquide considéré. Une augmentation extrêmement faible suffit alors à déterminer l'arrachement de l'anneau.

La valeur de la tension se lit directement sur un cadran gradué en dynes-cm, au moyen d'un index muni d'un vernier, la même vis commandant les déplacements de l'index et la torsion du fil.

Etalonnage de l'appareil

L'étalonnage se fait en plaçant sur l'anneau une masse m à laquelle correspond une force:

$$f = m. g.$$

La tension superficielle correspondante aurait donc pour valeur:

$$A = \frac{m.g.}{2l}$$

Nous avons choisi $m = 0 \text{ gr. } 50$. Comme $l = 4 \text{ cm.}$

$$A = \frac{0,50 \times 981}{8} = 61,3 \text{ dynes-cm.}$$

C'est le nombre qui dans ces conditions doit être indiqué par l'index, quand on a ramené le fléau à sa position d'équilibre.

Si le nombre lu sur le cadran diffère du nombre ainsi calculé, il convient de modifier la longueur du fléau. Il est évident que cette longueur devra être augmentée si le nombre est trop faible, diminuée s'il est trop fort.

Comme chaque modification de la longueur du fléau entraîne un déplacement du zéro de l'appareil, un réglage exact ne peut être réalisé que par une série de tâtonnements.

Précautions à prendre dans les mesures de tensions superficielles

1° Une condition fondamentale pour effectuer des mesures correctes est d'assurer une propreté absolue de tous les récipients destinés à recevoir les liquides sur lesquels on doit effectuer des mesures. On peut par exemple les plonger dans une solution sulfurique de bichromate de potassium que l'on porte à l'ébullition et les rincer abondamment à l'eau bidistillée avant l'emploi.

2° Comme la tension superficielle peut varier suivant le temps qui s'est écoulé entre le moment où le liquide a été agité et le moment où l'on fait la mesure, il convient d'introduire le liquide dans le vase d'expérience et de placer celui-ci sur le plateau de l'appareil que l'on réglera dans la position la plus proche de celle qu'il devra occuper lors de la mesure. On pourra, dans ces conditions, opérer après un temps de repos déterminé et obtenir des mesures comparables.

3° On mesurera exactement la température du liquide car la valeur de la tension superficielle dépend de ses variations.

Il importe que cette température soit très voisine de celle du laboratoire, ce qui a eu lieu dans nos expériences. On connaîtrait mal en effet la température de la surface du liquide si, entre celle de la masse en expérience et celle de l'air ambiant, existait une trop grande différence.

4° Il ne faut pas oublier que le réglage du zéro doit être effectué avant chaque mesure et après avoir plongé l'anneau dans le liquide pour le mouiller de la quantité qu'il sera amené à entraîner quand il quittera la surface. lors d'une détermination.

MATIÈRES ORGANIQUES (16)

Les matières organiques que renferment les eaux d'alimentation sont d'origines très diverses et il est impossible de les caractériser; aussi doit-on se contenter de les doser en bloc.

Les procédés de dosage reposent tous sur le même principe: on utilise une solution de permanganate de potassium de titre connu pour brûler les matières organiques et on a coutume d'exprimer les résultats en oxygène consommé. Ces méthodes sont tout à fait conventionnelles, aussi doit-on se conformer rigoureusement aux modes opératoires donnés par les auteurs.

Les meilleurs procédés sont certainement ceux qui font employer un excès de permanganate que l'on fait agir pendant un temps d'ébullition déterminé.

Nous avons adopté, au cours de notre travail, la méthode de Gabriel POUCHET, la plus précise et la plus pratique des méthodes classiques.

Elle est plus précise parce que l'on opère sur 200 cc. d'eau, alors que dans la méthode d'Albert LEVY, par exemple, le dosage porte sur 50 cc.; les erreurs absolues étant rigoureusement les mêmes dans les deux cas, les erreurs relatives sont donc quatre fois plus faibles dans la méthode de POUCHET.

Elle est aussi plus pratique, parce que l'on emploie une solution de permanganate $\frac{N}{80}$ dont 1 cc. libère dans la réaction

1/10° de milligr. d'oxygène, ce qui supprime les calculs.

Le dosage des matières organiques se fait généralement en double: en milieu acide, et en milieu alcalin. On admet en effet que les matières organiques absorbent plus d'oxygène en milieu alcalin si elles sont d'origine végétale et inversement si elles sont d'origine animale. En tous cas, que l'oxydation soit faite en milieu acide ou en milieu alcalin, le principe du dosage reste le même.

Méthode de Pouchet

Pour faciliter l'exposé de la méthode, nous donnerons d'abord quelques détails sur les solutions employées.

Solutions employées:

1° Une solution $\frac{N}{80}$ de permanganate de potassium.

2° Une solution de sulfate ferreux ammoniacal répondant à la formule:

Sulfate ferreux ammoniacal 5 gr.

Acide sulfurique pur 20 cc.

Eau distillée qs. pour 1000 cc.

3° Une solution aqueuse d'acide sulfurique à 1/5 en volume.

4° Une solution aqueuse saturée de bicarbonate de soude.

Nous remarquerons que la solution de sulfate ferreux, qui nous permet un dosage en retour du permanganate employé, n'est pas une solution titrée. C'est encore un avantage de la méthode qui, par l'emploi d'un témoin, nous dispense d'un dosage qu'il faudrait refaire avant chaque analyse.

Mode opératoire

Le dosage se fait par différence avec un témoin, ce qui permet d'éliminer toutes les causes d'erreurs que pourraient introduire les réactifs.

Dans une fiole conique de 500 cc. on introduit 200 cc. d'eau à analyser, on y ajoute 20 cc. de permanganate $\frac{N}{80}$ exactement

mesurés à la burette et 10 cc. d'acide sulfurique au 1/5.

Dans une autre fiole identique on introduit 200 cc. d'eau redistillée sur permanganate, puis les mêmes quantités de réactifs.

On porte à l'ébullition pendant 10 minutes, en ayant soin

d'introduire dans chaque fiole, deux à trois grains de ponce sulfurique pour régulariser l'ébullition. Après cette opération, le mélange doit toujours être fortement coloré en violet, sinon il convient de recommencer le dosage en augmentant la quantité de permanganate employé. Après refroidissement on introduit dans chaque fiole 20 cc. de la solution ferreuse qui se trouve en excès; le sulfate ferreux est alors dosé directement par le permanganate. Soient N et n , le nombre de cc. respectivement nécessaires pour l'eau à analyser et pour le témoin.

Les réactions suivantes expliquent ce mode opératoire: pendant l'ébullition une partie du permanganate est passée à l'état de sulfate de manganèse en produisant la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques. Quand on ajoute les 20 cc. de solution ferreuse il y a réduction du permanganate restant et si les deux solutions se correspondaient exactement volume à volume, la quantité de permanganate réduite par les matières organiques se trouverait alors remplacée par une quantité équivalente de sulfate ferreux. Or, on a encore un léger excès, et c'est cet excès qui est dosé dans le témoin quand on ajoute finalement la quantité nécessaire de permanganate pour obtenir le virage au rose.

La quantité de permanganate réduit par les matières organiques est donc égale à $N - n$.

Chaque centimètre cube de cette différence correspond à $1/10^e$ de milligr. d'oxygène absorbé; comme on opère sur 200 cc., il suffit de multiplier par 5 pour rapporter au litre.

DEUXIÈME PARTIE

LES PRÉLÈVEMENTS

La manière dont sont effectués les prélèvements peut avoir une importance assez considérable sur les résultats des analyses et nous ne croyons pas inutile d'insister un peu sur ce point, car, dans notre cas surtout, il importait de prélever toujours dans les mêmes conditions si nous voulions obtenir des résultats comparables.

Les flacons de trois litres que nous utilisions pour faire nos prélèvements étaient réservés exclusivement à cet usage: un flacon servait uniquement à l'eau de Moselle brute, un autre à l'eau filtrée au départ de Messein, et un troisième à l'eau filtrée à l'arrivée à Nancy. Ces flacons, lors de leur mise en service, ont été lavés à plusieurs reprises avec du permanganate sulfurique chaud, puis rincés à l'eau distillée. Après chaque analyse, ils étaient soigneusement rincés à l'eau distillée puis, avant chaque prélèvement, avec l'eau à prélever.

D'autre part nous insistons sur ce fait que nous avons prélevé chaque fois à la même place et à la même profondeur, nos bouteilles étant convenablement lestées. De plus, les eaux étudiées étant toujours chargées de matières en suspension déposant assez rapidement, nous avons toujours eu soin de laisser dans les flacons un vide suffisant, ce qui permettait, avant les expériences, de rendre l'eau homogène par une agitation vigoureuse.

En résumé: prélever toujours à la même place, à la même profondeur, dans les flacons chimiquement propres, rendre l'eau bien homogène avant de la soumettre à l'analyse, sont certainement les premières conditions à respecter.

Il convient de signaler encore que nos prélèvements d'eau

filtrée à l'arrivée à Nancy, ont été effectués à l'entrée du réservoir Saint-Charles au moyen d'une pompe dont le tuyau va plonger assez loin dans l'aqueduc et permet de recueillir de l'eau non javellisée. Notons enfin que nous avons toujours pompé abondamment avant de prélever, pour rincer le tuyau en chassant l'eau qui pouvait y avoir séjourné.

L'eau prélevée dans les flacons de trois litres servait au dosage des matières organiques et à toutes nos mesures physiques à l'exception des mesures de tensions superficielles pour lesquelles, comme nous le verrons, des précautions spéciales s'imposent.

MESURES DES TURBIDITÉS

Nous avons exposé, dans la première partie, la théorie de la mesure des turbidités et nous voulons maintenant signaler les précautions à prendre au cours des manipulations, et préciser le mode opératoire que nous avons adopté.

1° Précautions à prendre au cours des mesures.

1. *Propreté de l'appareil.*

Il convient tout d'abord d'assurer une propreté rigoureuse de tout l'appareil; enlever la poussière qui tombe sur le coin photométrique, rincer avant chaque mesure, avec de l'eau distillée, l'ampoule A, le tube en caoutchouc, le tube métallique T et nettoyer les glaces qui limitent ce dernier et le piston plongeur P.

2. *Vérifier la stabilité du montage électrique.*

Avant d'introduire l'eau dans l'appareil, pour effectuer une mesure, il est prudent de vérifier la stabilité du montage électrique, car, avec des eaux chargées de matières en suspension, il faut éviter un trop long séjour de l'eau dans l'appareil ce qui entraînerait une décantation plus ou moins importante et fausserait les résultats.

Nous tenons à faire remarquer que nous devons à M. DONZELOT un appareil d'une stabilité parfaite et nous voulons seulement signaler ici des instabilités accidentelles ou passagères, qu'on ne peut éviter dans la pratique.

Une condition fondamentale est un bon entretien des batteries d'accumulateurs. Celles qui alimentent la lampe d'éclairage doivent être rechargées fréquemment et régulièrement, et nous avons vérifié qu'il faut les faire débiter pendant un certain temps pour qu'elles atteignent leur palier de décharge, avant d'espérer faire une mesure correcte.

Nous n'insistons pas sur le manque de fidélité qui pourrait être dû au « traînage » de la cellule; nous l'avons déjà signalé et, en ayant soin d'allumer la lampe d'éclairage une heure avant les mesures et de laisser la cellule sous tension, en moins d'une minute l'aiguille du microampéremètre prend sa position d'équilibre et reste rigoureusement fixe.

Il est plus délicat de remédier aux difficultés dues à la « fatigue » de la cellule. Nous n'avons observé ce fait qu'une seule fois, au bout de trois mois d'un travail quotidien de plusieurs heures. La cellule a d'ailleurs retrouvé sa stabilité et sa fidélité après quatre jours de repos.

On pourrait éviter cet ennui en renonçant à l'emploi de la cellule à gaz. Actuellement, le commerce livre des cellules à vide dont la sensibilité est du même ordre que celle de la cellule que nous utilisons, et qui la remplaceraient avantageusement.

3. Eviter la formation de bulles d'air.

Après avoir introduit l'eau à étudier dans l'appareil, on y plonge le piston P assez brusquement pour éviter la formation de bulles d'air contre la glace qui limite sa partie inférieure. Pour faciliter l'évacuation de celles qui pourraient se former, l'écrou de fixation de la glace est profondément crénelé. On vérifie l'absence de bulles d'air en plaçant l'œil à l'extrémité du piston, la colonne d'eau étant éclairée avec la lumière réfléchie par une petite planche laquée en blanc et placée à la partie inférieure du tube T, occupée sur la figure 3 par la cellule C.

D'autre part quand l'eau en expérience a séjourné quelques heures dans l'appareil, de très petites bulles d'air, difficilement perceptibles, se rassemblent quelquefois sur la glace supérieure et pourraient fausser les résultats, d'où la nécessité d'opérer dans la première demi-heure du remplissage.

4. Repérer la position initiale du coin photométrique.

Nous utilisons toujours les 50 premiers millimètres du coin, les courbes d'étalonnage nous donnant, dans cette portion, une exacte proportionnalité entre les longueurs et les densités

optiques. Nous avons donc repéré sur la monture du coin un point initial auquel nous nous plaçons toujours avant de mettre le microampéremètre au zéro. •

5. Vérifier la tension appliquée à la lampe d'éclairage.

Au moyen d'un rhéostat, on ajuste à 12 volts la tension appliquée à la lampe d'éclairage, tension qu'un voltmètre placé sur le côté de l'appareil permet de vérifier. Ce contrôle est important; la stabilité et la précision des mesures dépendant de la constance du flux lumineux qui frappe la cellule. Nous l'avons vérifié avant et après chaque mesure. A la précision de l'appareil employé, il ne doit pas être possible de déceler une quelconque variation de tension et nous avons recommencé l'opération le cas échéant.

2° Mode opératoire.

Toutes les précautions signalées étant prises, on remonte le piston jusqu'à la division 43 et on amène le microampéremètre dans une position voisine de son zéro propre. L'aiguille est stable en moins d'une minute et l'on note sa position, soit par exemple 0,001. On enfonce ensuite le piston jusqu'à la division 3; l'aiguille du microampéremètre accuse alors une augmentation de débit du courant photoélectrique et prend une position stable à la division 0,485 par exemple. Il suffit alors de compter le nombre de tours que doit faire l'écrou gradué commandant les déplacements du coin pour ramener l'aiguille du microampéremètre au point initial, soit ici à la division 0,001.

Nous contrôlons alors la tension appliquée à la lampe d'éclairage qui ne doit pas varier au cours de l'expérience et nous faisons enfin une vérification de la mesure.

Pour cela, après avoir ramené le coin au zéro, nous remontons le piston à la division 43. Une minute suffit pour que l'aiguille du microampéremètre soit stable: elle doit alors indiquer la division 0,001.

Avec un peu d'habitude, toutes ces opérations peuvent être faites en moins d'un quart d'heure et les seules difficultés viennent généralement des batteries d'accumulateurs.

3° Résultats.

Le tableau qui figure à la fin de ce chapitre donne les résultats des mesures faites sur 40 cm. d'eau. Les nombres représentent en millimètres les déplacements du coin. Certains sont suivis d'un point, d'autres de deux. Pour ceux-ci, les mesures ont été faites sur 10 cm. d'eau, pour ceux-là sur 20; dans les deux cas les résultats ont été rapportés à 40 cm. Nous avons alors affaire à des eaux tellement troubles que, pour rester dans une zone de bonne sensibilité de la cellule, nous étions obligé de réduire la hauteur d'eau interposée; nous multiplions ainsi par 2 et par 4 les erreurs relatives commises sur les lectures; mais, alors qu'un déplacement d'un millimètre du coin ne changeait pas la position d'équilibre de l'aiguille en opérant sur 40 cm., le flux lumineux incident étant presque totalement absorbé par l'eau, le microampéremètre devenait sensible à un déplacement de $1/10^{\circ}$ de millimètre en opérant sur 20 ou 10 cm. suivant les cas.

Pour les mesures comparatives que nous nous sommes proposées, seules les variations relatives nous intéressent: nous avons effectué les calculs pour rapporter les résultats à 1 mètre d'eau et les traduire en indices de turbidité. L'indice de turbidité que nous avons ainsi défini est facile à calculer en partant des nombres donnés dans le tableau.

En effet, la densité optique de notre coin varie de 0 à 2 en 13 cm. Le déplacement du coin correspondant à une augmentation de la densité optique de 1 serait donc:

$$\frac{13}{2} = 65 \text{ millimètres.}$$

Si nos résultats correspondaient à 1 mètre d'eau, il suffirait donc de diviser les nombres du tableau par 65 pour avoir l'indice de turbidité, mais, comme ils sont rapportés à 40 cm., l'indice sera calculé en divisant ces nombres par:

$$\frac{65 \times 40}{100} = 26.$$

INDICES DE TURBIDITÉS

N°	M. B.		M. F.		S. C.	
	mesure sur 40 cm.	Indice	mesure sur 40 cm.	Indice	mesure sur 40 cm.	Indice
1	37	1,42	19,2	0,74	26,5	1,02
2	43	1,65	20	0,75	36,8	1,41
3	29,2	1,03	22,8	0,86	27	1,04
4	53	2,03	22	0,84	31,7	1,22
5	49	1,88	15,5	0,60	27	1,04
6	52	2,00	20	0,77	34,6	1,31
7	48	1,84	23,8	0,91	44	1,69
8	42	1,61	13,4	0,52	24,3	0,93
9	44	1,69	18,8	0,72	30	1,15
10	63	2,42	22,6	0,86	35,5	1,37
11	65	2,50	31	1,19	43	1,65
12	73	2,81	35	1,34	48	1,84
13	58	2,23	38	1,46	56	2,15
14	156**	6,00	74,8*	2,87	70,8	2,72
15	109,2**	4,20	92,8**	3,55	104**	4,00
16	54	2,07	41,6	1,60	45,2	1,74
17	65,4*	2,51	30,3	1,40	51,6	1,98
18	55	2,08	45	1,73	61	2,34
19	63,5*	2,44	29	1,11	50	1,92
20	65*	2,50	48	1,84	59,4	2,28
21	56	2,15	42	1,61	50	1,92
22	44,8	1,72	26	1,00	34	1,31
23	47,2	1,79	26,6	1,02	34	1,31
24	56	2,15	38	1,46	44,8	1,72
25	56	2,15	40	1,54	44	1,69
26	62*	2,39	35	1,34	47	1,80
27	52	2,00	20	0,77	38	1,46
28	50,6	1,95	70*	2,69	112**	4,30
29	48,8	1,87	33,2	1,28	44,8	1,72
30	76	2,92	45	1,73	59	2,27

Nomenclature adoptée dans tous les tableaux de résultats :

N°: numéro d'ordre de l'analyse porté en abscisses sur les courbes.

MB: résultats des mesures faites sur l'eau de Moselle brute.

MF: Résultats des mesures faites sur l'eau de Moselle filtrée au départ de Messein.

SC: Résultats des mesures faites sur l'eau de Moselle filtrée à l'arrivée à Nancy.

MESURES DES RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES

1° Difficultés rencontrées au cours des mesures.

Nous nous sommes déjà étendu sur les différents détails du montage que nous avons adopté pour mesurer la résistance électrique des eaux d'alimentation. Au point de vue pratique, nous voulons signaler deux difficultés qu'il importe de résoudre sous peine de ne pas atteindre la précision que nous sommes théoriquement en droit d'attendre.

1. Réglage du vibreur.

Pour nos mesures, le vibreur est alimenté par une pile Féry; le réglage est laborieux, mais quand il est fait soigneusement, il est possible de travailler pendant des périodes de près d'un mois, en ayant seulement à donner un petit choc sur la boîte de blindage pour lancer le vibreur. Ce réglage ne peut être effectué que par tâtonnements et il n'est au point que lorsque le vibreur peut fonctionner pendant plusieurs heures consécutives sans s'arrêter, en donnant un son pur, ininterrompu et sans crépitements d'étincelles.

Pour éviter ce réglage délicat, nous avons songé, comme le proposent GUEBEN et RASSENFOSSE (17) à substituer au vibreur un oscillateur à lampes à fréquence audible qui présente, comme le disent les auteurs, le double avantage d'être silencieux et de fonctionner d'une manière très stable. Nous l'avons essayé, mais nous n'avons pu l'adopter car il nécessitait l'emploi de nouvelles batteries d'accumulateurs dont nous ne disposions pas, et il ne nous a pas paru présenter d'avantages importants sur notre vibreur, quand ce dernier est bien réglé. Notons du reste que la boîte de blindage étant entièrement garnie de feutre de 2 cm. d'épaisseur, il est impossible, même de très près et en étant très attentif, de percevoir le son émis.

2. Réglage du thermostat.

Nous ne disposions que du thermostat à gaz que nous venons de décrire; la grosse difficulté est d'en maintenir la tem-

pérature constante. Nous l'avons réglé à une température très voisine de 26° , c'est-à-dire supérieure à celle de l'air ambiant.

Au cours de la matinée, la température ne restait pas stable à plus de $1/10^{\circ}$ de degré près, ce qui est nettement insuffisant: on introduirait, comme nous le verrons, une erreur relative de $1/500^{\circ}$, erreur bien supérieure à la somme des erreurs maxima que l'on commet au cours d'une mesure.

La température augmentait notablement entre 11 heures et midi (jusqu'à $3/10^{\circ}$ de degré) pour redescendre environ à sa valeur première dans l'après-midi et se maintenir beaucoup plus stable. Ces variations sont dues sans doute aux variations de la pression du gaz et aux variations de la température de l'air ambiant.

L'expérience a montré qu'après une demi-heure de séjour de la cellule dans le thermostat, la température de l'eau à analyser ne variait plus, car la résistance, mesurée de 5 minutes en 5 minutes après ce temps conservait la même valeur, aux erreurs d'expérience près.

La cellule de conductibilité utilisée nous a été livrée par les établissements Rhône-Poulenc, munie d'un thermomètre plongeant entre les deux électrodes. Ce thermomètre dont les graduations très rapprochées ne permettaient pas d'apprécier mieux que le $1/10^{\circ}$ de degré, nous a paru insuffisant et d'autre part son interposition n'est vraisemblablement pas sans influence sur la répartition des lignes de force du champ électrique qu'il peut modifier. Nous l'avons donc supprimé et les températures que nous indiquons dans le tableau des résultats sont celles que donnait un thermomètre métastatique de BECKMANN au $1/100^{\circ}$ de degré plongeant dans l'eau du thermostat, tout à côté de la cellule.

Nous avons toujours assuré la même position de la cellule par rapport au thermomètre et maintenu le même niveau d'eau dans le thermostat pour toutes nos mesures.

De plus nous n'avons considéré les indications du thermomètre comme valables que lorsque la température n'avait pas varié de plus de $2/100^{\circ}$ de degré pendant la demi-heure durant laquelle la cellule est plongée dans le thermostat, avant la mesure.

D'autre part nous nous sommes toujours imposé trois mesures successives pour lesquelles la position du minimum ne variait jamais de plus de 2 cm. et les chiffres notés correspondent à la moyenne des trois lectures.

2° Détermination expérimentale du facteur correctif de température.

Toutes nos mesures ont été faites à une température très voisine de 26° et l'écart maximum entre les différentes mesures est de 1/2 degré. Nous avons cependant voulu déterminer l'importance des variations de température sur la valeur de la résistance des eaux considérées.

L'expérience a porté sur une eau de résistance moyenne (705 ω à 26°) et nous avons opéré de la façon suivante: Nous avons réglé le thermostat à 2°60 au BECKMANN (26° correspondant à 2°40) puis, l'eau étant depuis une demi-heure au thermostat, nous avons diminué légèrement la flamme du gaz. La température s'est abaissée assez régulièrement de 3/10° de degré par heure environ pour passer de 2°60 à 1°50. Nos mesures étant faites à des températures qui varient de 1°72 à 2°20 et dans la majorité des cas de 1°70 à 2° nous avons mesuré les résistances de l'eau considérée entre 2°50 et 1°50 pour chaque variatoïn de 1/10° de degré. Le tableau suivant résume cette expérience.

Températures	R	l	x
2°50	703	46	703.3
2°40	705	54	704.7
2°30	707	59	706.3
2°20	708	55	707.6
2°10	709	50	709.
2°	710	47	710.4
1°90	712	53	711.7
1°80	713	50	713
1°70	714	42	714.6
1°60	716	48	716.1
1°50	717	38	717.7

Dans cette expérience nous avons: $R_1 = 100 \, \omega$, $R_2 = 100 \, \omega$ et les résistances L_1 et L_2 correspondantes aux longueurs l_1 et l_2 ont été calculées en multipliant l_1 et l_2 exprimés en centimètres par $0 \, \omega \, 00532$, valeur du centimètre moyen du fil comme nous l'avons vu.

Nous en déduisons donc comme coefficient de température α , pour un degré, la valeur moyenne de 0.020, pour les températures utilisées. Pour les corrections il suffit d'appliquer la formule:

$$R_t' = R_t [1 + \alpha (t' - t)]$$

Dans le tableau des résultats, nous donnons les valeurs mesurées avec les indications de température correspondantes, et les valeurs corrigées ramenées à 26° .

3^o Détermination de la constante K des électrodes.

Nous avons vu que pour calculer K, il fallait mesurer, toutes conditions restant les mêmes, la résistance R' d'un liquide dont on connaît ρ' ; K étant tiré de la formule:

$$R' = K \, \rho' \quad \text{donc } K = \frac{R'}{\rho'}$$

les tables donnant généralement la conductibilité spécifique

$C' = \frac{1}{\rho'}$, la formule qui permettra de calculer K devient alors:

$$K = R' \cdot C'$$

donc la résistivité spécifique du liquide considéré sera alors:

$$\rho = \frac{R}{K}$$

et la conductibilité spécifique

$$C = \frac{1}{\rho} = \frac{K}{R}$$

Nous n'avons pas en vue des mesures absolues. Nous nous sommes borné à mesurer la résistance d'une solution étalon de KCL N/50 au début et à la fin de nos expériences pour nous

assurer que la « constante des électrodes » n'avait pas changé au cours des mesures, ce que leur excellente fixation l'une par rapport à l'autre, nous laissait prévoir.

Voici les résultats de ces mesures:

	R	R ₁	l ₁	R ₂	l ₂	B	X mesuré	Xramené à 2°10
Expérience initiale	47	10	38	10	62 c/m	3°15	47.047	48.027
Expérience finale	48	10	44	10	56 c/m	2°10	48.024	48.024

La mesure à 3°15 a été ramenée à 2°10 en utilisant le coefficient 0,02 par degré donné par DARMOIS (*Leçon de conductibilité*, p. 19). La troisième décimale devant être négligée, nous concluerons, qu'à la précision des mesures, la « constante des électrodes » n'a pas varié, ce qui est essentiel.

4° Détermination expérimentale de la sensibilité du montage.

Pratiquement pour une résistance moyenne de 700 ω environ, si l'on augmente R de 1 ω , la température restant constante, le minimum se déplace sur le fil de 13 cm. en moyenne comme le montre le tableau suivant:

Température constante	R	l ₁
—	692	20
—	693	33
—	694	47
—	695	60
—	696	73

La position du curseur donnant l'équilibre du pont, étant fixée à 1 cm. près, on peut donc apprécier une résistance de 700 ω environ à 1/13 d'ohm, soit une erreur relative de

$$\frac{0,077}{700} = \frac{1}{10^4}$$

On voit donc que la sensibilité couvre largement la précision que nous pouvons attendre.

MESURES DES RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES

N ^o	M. B			M. F			S. C		
	X mesuré	θ	X à 26°	X mesuré	θ	X à 26°	X mesuré	θ	X à 26°
8	518	1°75	511,3	487,3	1°83	481,8	476	1°90	471,2
9	505,2	1°90	500,2	465	1°90	460,3	449,6	2°	446
10	458,5	1°75	452,5	400,5	1°70	462,9	472,2	1°76	465,6
11	636,4	1°62	626,5	473,4	1°70	565,4	563,3	1°86	557,2
12	673,1	1°86	665,8	632	1°80	624,5	611,4	1°87	604,9
13	701,4	1°83	782,4	685,3	1°80	677,9	688,3	1°83	680,5
14	1101,2	1°90	1179,3	802	1°82	792,7	772,2	1°82	703,2
15	1344,7	1°94	1332,3	967	1°90	957,3	918,5	1°88	909
16	1150,2	1°87	1138	998	1°74	984,8	952,2	1°82	942,2
17	1028,5	1°95	1019,2	932	2°10	926,4	905,1	2°15	900,6
18	910,5	2°06	910,3	861,1	2°05	855,1	827,2	2°20	823,9
19	841,2	2°04	835,2	794,2	2°10	789,4	778,4	2°10	773,7
20	810,2	1°87	801,6	773,7	1°83	764,9	756,2	1°87	748,2
21	732	2°	726,2	729,3	1°88	721,7	713,3	1°88	705,9
22	893,5	2°12	888,3	787	2°15	783,1	787,5	2°20	784,4
23	786,2	1°95	779,1	752,3	1°83	742,7	724,3	1°90	717,1
24	807	1°90	798,9	759	1°85	750,7	738	1°90	730,6
25	743,2	1°86	735,2	708,2	1°90	701,1	695,2	2°10	691
26	631,3	1°83	624,1	631,4	1°80	622,8	632,1	1°88	623,5
27	669,5	2°	664,1	654,2	2°05	649,4	604,3	2°10	600,7
28	677,2	1°90	670,4	637,3	1°88	630,7	606,2	1°95	600,7
29	658,3	1°78	650,1	591,1	1°83	584,4	575	1°90	569,5
30	636	1°90	629,6	603	2°10	599,4	601	2°	596,2

NUMÉRATION DES PARTICULES ULTRAMICROSCOPIQUES

Comme pour toutes nos mesures, l'eau est agitée vigoureusement pour la rendre bien homogène avant de la soumettre à l'expérience. La seule précaution à prendre est d'assurer une propreté rigoureuse de la cuve. Avant et après chaque mesure, nous avons l'habitude de rincer la cuve à plusieurs reprises avec de l'eau aussi optiquement vide que possible (eau bidistillée).

Mode opératoire.

Pour chacune des eaux étudiées nous faisons cinq séries de mesures en changeant chaque fois l'eau de la cuve, et dans chaque série, nous faisons quatre lectures successives, en notant pour chacune le nombre de particules comptées dans les 18 carrés du quadrillage de l'oculaire.

Les nombres qui figurent dans le tableau représentent chacun la somme des vingt lectures faites sur chaque échantillon. De même que pour les autres facteurs, nous n'avons pas jugé utile d'exprimer nos résultats en valeur absolue en rapportant le nombre des particules au millimètre cube d'eau, par exemple.

En opérant comme nous venons de l'indiquer, toutes nos mesures sont faites sur un même volume d'eau et nos résultats sont comparables entre eux.

Précision.

Nous pouvons affirmer l'exactitude des résultats que nous donnons à une ou deux unités près. Grâce à l'aimable concours d'un de nos camarades du laboratoire de Physique, nos chiffres ont été souvent contrôlés. Ainsi pour les trois essais, groupés dans le tableau sous le numéro 28, une première numération nous a donné 95, 74 et 115 particules et l'examen fait une seconde fois, dans les mêmes conditions opératoires, a donné 94, 74 et 115 particules.

NUMÉRATION DES PARTICULES
ULTRAMICROSCOPIQUES

N°	M. B.	M. F.	S. C.
8	140	98	120
9	145	104	142
10	140	85	112
11	114	84	132
12	125	98	137
13	138	101	147
14	222	162	205
15	162	123	162
16	135	92	141
17	129	88	133
18	113	87	120
19	112	80	119
20	112	83	117
21	117	96	131
22	130	90	126
23	128	92	132
24	133	95	136
25	126	90	128
26	117	91	118
27	110	85	111
28	95	74	115
29	89	71	103
30	115	91	117

MESURES DES TENSIONS SUPERFICIELLES

Les mesures de tensions superficielles sont extrêmement délicates, aussi avons-nous déjà signalé les principales précautions qu'il est indispensable de prendre au cours des manipulations.

Nous ajouterons, d'autre part, que ces mesures ont fait l'objet de prélèvements spéciaux dans des flacons de 100 cm³ bouchés émeri. Ils n'ont été mis en service qu'après avoir été plongés dans du bichromate sulfurique que nous portons à l'ébullition, et après chaque mesure nous les emplissons de cette même solution. Au moment d'aller prélever, ils étaient vidés de leur contenu, puis rincés à plusieurs reprises avec de l'eau bidistillée, et enfin, lors du prélèvement, avec l'eau à prélever.

Il ne faut pas oublier que la moindre impureté dans le liquide en expérience ou dans l'air ambiant est susceptible de modifier considérablement les résultats.

L'eau introduite dans le vase d'expérience devant y rester en repos pendant une heure et demie, nous avons toujours eu soin de recouvrir les cristallisoirs à bords rodés avec une plaque de verre.

D'autre part, nous nous sommes attaché à ce que la température de l'eau soumise à l'essai soit très voisine de celle du laboratoire, condition essentielle si l'on veut que la température de l'eau, prise après chaque mesure corresponde sans trop d'erreur à la température de la couche superficielle qui seule nous intéresse.

Nos mesures ont toutes été faites à des températures très voisines de 20° (écart maximum 19 à 21) et les résultats donnés dans le tableau ont tous été ramenés à cette température.

Nous avons adopté à cet effet un facteur correctif donné dans la littérature intéressant cette question.

Nous avons renoncé à une détermination expérimentale qui nous a semblé beaucoup trop délicate. Il est en effet bien difficile d'élever simultanément et de la même valeur la température du liquide et celle de l'air ambiant. Quant à déterminer

une correction en élevant la température du liquide successivement de plusieurs degrés sans modifier celle du laboratoire, nous avons craint d'obtenir, dans ces conditions, des nombres qui n'auraient pas eu la valeur de ceux trouvés dans la littérature.

Mode opératoire.

On met l'appareil au zéro après avoir chargé l'anneau des 2 films de liquide qu'il entraînera au moment de la rupture de la surface. A cet effet il faut agir sur la vis de réglage de la torsion du fil, de manière à amener le fléau dans la position horizontale, qu'un petit miroir muni d'un trait noir horizontal et placé derrière le fléau permet de repérer. Dans ces conditions, la mise au zéro dépend de la position de l'œil de l'observateur; aussi pour éliminer ce coefficient personnel, avons nous adjoint à l'appareil une loupe munie d'un réticule, et placée de telle façon que le réticule et le trait de repère du miroir soient parallèles et dans le même plan horizontal. Il est alors facile de mettre l'appareil à un zéro correct en amenant le fléau à coïncider avec les deux droites ainsi définies.

Le zéro étant déterminé, on fait une première mesure rapide pour déterminer l'ordre de grandeur de la tension à mesurer, puis on recommence la mesure en augmentant lentement et progressivement la torsion du fil au voisinage du point repéré.

En opérant de cette façon, les résultats obtenus pour les trois mesures que nous faisons toujours pour chaque détermination, avaient la même valeur à 0,2 dyne/cm. près.

Les mesures ainsi réalisées sont des mesures relatives. Pour des mesures absolues un autre mode opératoire s'imposerait.

MESURES DES TENSIONS SUPERFICIELLES

A 20°

N°	M. B.	M. F.	S. C.
8	71	62	69
9	73,5	62,6	74
10	72,4	68,7	69,5
11	62,6	57,9	58,8
12	64,2	60,7	72,4
13	69,3	65,6	66,6
14	59,1	57,9	68,7
15	73,3	58	72
16	70	60	70
17	61,8	57,7	64,6
18	71,4	61,6	70,5
19	69	60,7	67,9
20	72,8	69	69,7
21	72	70,8	69,2
22	61,1	58,8	68,1
23	61,8	60,9	53,1
24	64,8	60,8	60,4
25	64,5	61,2	62,3
26	73,5	68,2	73,2
27	65,1	61,5	64
28	59,4	58,4	64
29	73,9	68,4	68,7
30	72,2	71,5	72,6

DOSAGES DES MATIÈRES ORGANIQUES

Nous avons déjà signalé en détail le mode opératoire que nous avons employé. Nous ajouterons seulement quelques précautions pratiques. Huit fioles coniques Pyrex de 500 cm³ étaient réservées exclusivement à ce dosage: quatre pour l'opération en milieu acide (une pour le témoin et une pour chaque eau) et quatre pour l'opération en milieu alcalin. Après chaque dosage nous avons l'habitude de rincer toute la verrerie avec de l'eau redistillée amenée à teinte rose sensible par quelques gouttes de permanganate $\frac{N}{80}$. Nous insistons sur la nécessité d'em-

ployer, pour le témoin, une eau rigoureusement exempte de matières organiques sous peine de trouver des résultats trop faibles, l'indice n du témoin devenant trop fort. Nous utilisons toujours de l'eau distillée, soigneusement redistillée sur du permanganate sulfurique. Chaque distillation portait sur quatre litres environ, on n'en recueillait que deux après avoir rejeté le premier litre qui passe à la distillation.

Le tableau ci-contre donne les résultats des dosages effectués en milieu acide.

Nous jugeons inutile de reproduire ici le tableau complet des résultats obtenus en milieu alcalin, car aux exceptions près que nous allons signaler, nous avons toujours la même différence entre les deux dosages correspondants. Toujours les chiffres en milieu alcalin ont été trouvés plus faibles qu'en milieu acide. Pour les eaux filtrées MF et SC la différence excédait rarement 1/20 à 1/10 milligr.; pour l'eau brute, la différence était toujours plus forte, rarement inférieure à 2/10 de milligr. Nous croyons pouvoir expliquer ce fait: Dans l'eau prélevée en Moselle nous avons souvent un dépôt abondant dans les flacons de prélèvement. L'examen microscopique a montré que le culot de centrifugation d'une telle eau renfermait plus de débris végétaux que de produits minéraux. Or, nous avons toujours constaté que les berges filtrantes retenaient la plus grande partie de ce dépôt.

Nos résultats sembleraient donc justifier la théorie générale-

ment admise qui veut que la matière organique végétale absorbe plus d'oxygène en milieu acide qu'en milieu alcalin.

Nous reproduisons, ci-dessous, les quelques dosages en milieu alcalin qui nous ont semblés intéressants.

N°	MB	MF	SC
11	2.7	1.8	1.7
12	3.5	2.2	2.3
13	2.3	1.4	1.5
14	6.	2.7	2.7
15	4.3	3.2	2.8
16	2.6	2.	2.

Ces résultats sont en accord parfait avec l'hypothèse précédente. Nous voyons augmenter les différences avec les dosages correspondant en milieu acide ce qui coïncide avec l'abondance croissante du dépôt, surtout végétal, pendant cette période de pluies abondantes. Pour donner une idée de l'importance de la matière organique contenue dans ce dépôt nous rapporterons ici les résultats obtenus sur l'eau MB n° 14.

MB n° 14	Milieu acide	Milieu alcalin	Différence
Eau totale	7.4	6	29 %
Eau décantée après 1 heure de repos.....	5.2	4.4	15 %

Nous voyons ainsi qu'en supprimant une bonne partie de la matière organique végétale la quantité d'oxygène absorbé diminue plus en milieu acide qu'en milieu alcalin.

DOSAGES DES MATIÈRES ORGANIQUES
(Résultats exprimés en milligrammes d'oxygène absorbé par litre)

N°	M. B.	M. F.	S. C.
1	1,7	1,2	1
2	1,8	1,3	1
3	2,3	1,3	0,7
4	1,5	1,2	1
5	1,8	1,1	0,9
6	1,7	0,9	0,8
7	2,1	1,2	1
8	1,9	1,1	0,9
9	1,9	1,2	1
10	2,9	1,3	1,4
11	3,1	1,9	1,8
12	4,1	2,3	2,3
13	2,8	1,7	1,8
14	7,4	2,9	2,7
15	4,8	3,3	3
16	3	2,1	2,1
17	2,7	1,6	1,7
18	2,5	1,7	1,8
19	2,4	1,4	1,6
20	2,6	1,6	1,8
21	2,5	1,7	1,8
22	2,5	1,6	1,6
23	2,2	1,5	1,2
24	2,3	1,4	1,1
25	2,5	1,8	1,5
26	2,8	1,6	1,6
27	2,8	1,7	1,5
28	2,6	2,2	2,4
29	2,4	1,6	1,4
30	2,6	1,8	1,8

TROISIÈME PARTIE

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Nous représentons nos résultats dans deux séries de graphiques:

Une première série de cinq planches, dont chacune comporte 3 courbes destinées à comparer pour les trois eaux étudiées les 5 facteurs considérés.

Sur chaque planche nous avons adopté les désignations suivantes:

Courbe A, trait plein épais pour les variations de l'eau de Moselle brute;

Courbe B, trait plein fin pour les variations de l'eau de Moselle filtrée, départ Messein;

Courbe C, trait pointillé pour les variations de l'eau à l'arrivée à Nancy.

La deuxième série de graphiques comprend trois planches de 5 courbes. Sur chaque planche nous figurons les variations des 5 facteurs pour chaque eau étudiée.

Nous donnons ci-dessous la correspondance des numéros des courbes:

- Courbe 1: Turbidités;
— 2: Matières organiques;
— 3: Résistances électriques;
— 4: Particules;
— 5: Tensions superficielles.
-

ÉTUDE COMPARATIVE DES VARIATIONS DE TURBIDITÉ

Légende du graphique.

Origine: le zéro des ordonnées est à l'origine commune des axes.
Echelle: 1 cm. = 6 mm. 6 du coin.

Interprétation.

Remarques générales.

Sans s'arrêter à quelques points particuliers, sur lesquels nous reviendrons, nous pouvons faire les remarques suivantes:

a) On observe une assez bonne similitude d'allure des trois courbes, similitude d'ailleurs beaucoup plus rigoureuse entre les courbes B et C, qu'entre ces dernières et la courbe A dont les variations sont plus irrégulières.

b) Diminution considérable de la turbidité après les berges filtrantes (courbe B). Compte tenu de l'absorption due à une eau bien distillée correspondant à un chiffre voisin de 10 dans notre échelle, le pourcentage moyen de diminution de turbidité est extrêmement marqué. *L'efficacité de l'installation filtrante de Messein n'est donc pas douteuse et nous pouvons même dire que le rendement en est très bon.*

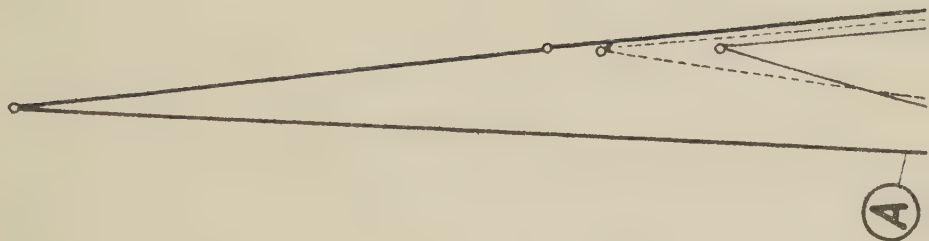
c) L'eau filtrée est toujours plus trouble à l'arrivée à Nancy qu'au départ de Messein et de plus nous n'avons pas affaire à une contamination accidentelle. Par période de beau temps comme par période de pluie cette pollution est nettement marquée. *Ce qui montre l'état défectueux de l'aqueduc d'amenée.*

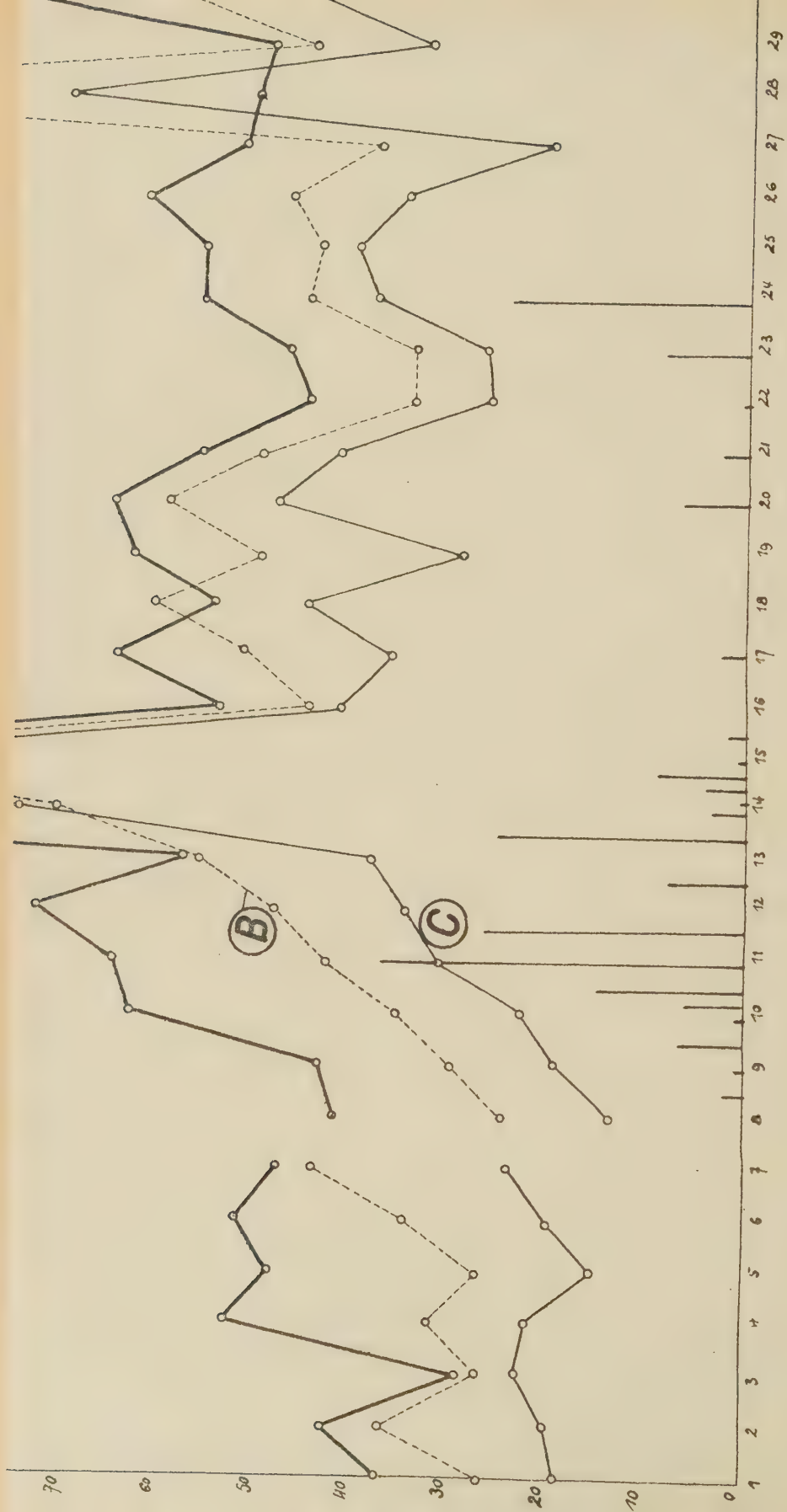
2. Interprétation de quelques points particuliers.

a) Nous voyons que la courbe A atteint son maximum à l'expérience 14, alors que la turbidité de B et C est maximum à l'expérience 15. Ceci vient de ce que les prélèvements de l'eau

150
149
130
120
110
100
90
80

TURBIDITÉS





filtrée à Messein étaient faits sensiblement en même temps que ceux de l'eau brute, alors que nous avons pu tenir compte des 7 heures de transit entre Messein et Nancy pour les prélèvements d'eau filtrée à l'arrivée.

b) A l'expérience 28 alors que la courbe A descend légèrement les courbes B et C montent dans des proportions considérables.

Nous avons effectivement constaté ce jour là un niveau d'eau et un courant anormaux au Château d'eau de Messein.

Nous avons pu savoir que, par suite de réparations à effectuer l'après-midi, on avait accéléré le pompage le matin. Le résultat, mis en relief sur les courbes, provient d'un entraînement des dépôts des canalisations par ce courant, et montre que *si les berges filtrantes donnent un débit suffisant pour un pompage normal, elles seraient insuffisantes pour le débit accéléré demandé, dans ce cas.*

c) L'expérience 13 montre que les variations de turbidité de l'eau brute ne se retrouvent pas nécessairement dans les eaux filtrées.

ÉTUDE COMPARATIVE DES VARIATIONS DE RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES

Légende du graphique.

Origine: Nous avons pris pour origine des ordonnées la cote 400.

Unité: 1 cm. = 100 ohms.

Interprétation.

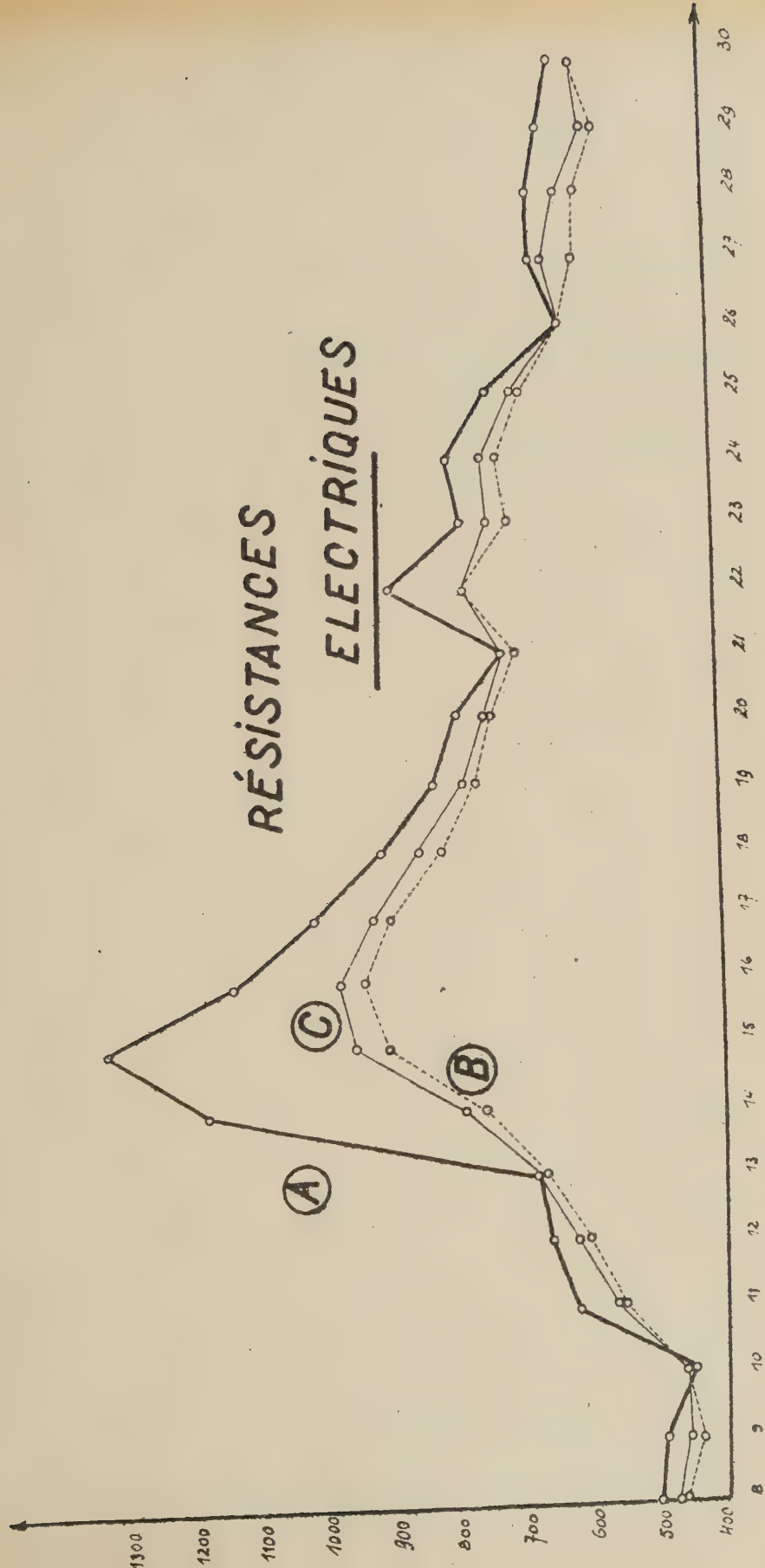
1. Remarques générales.

Les résistances électriques des trois eaux étudiées varient dans le même sens. Si nous nous reportons à la courbe de chute des pluies figurée sur la planche des turbidités, nous voyons que la résistance électrique de l'eau croît en période de pluie. Cette augmentation de résistance traduit une diminution de la minéralisation qui peut s'expliquer par une augmentation du courant de la rivière, courant qui ne laisse pas à l'eau le temps de dissoudre beaucoup des substances minérales qu'elle rencontre.

D'autre part la résistance de l'eau filtrée (courbe C) est notablement moins forte, ce qui laisse supposer qu'en traversant les filtres, l'eau dissout des substances minérales qu'elle emprunte aux matériaux de construction de ces derniers.

Quant à la diminution de résistance (qui ne dépasse pas 5 %) durant le transit Messein-Nancy, il est assez difficile de se prononcer sur son origine. Elle est sans doute dûe aux infiltrations dans l'aqueduc, mais peut-être aussi pour une part, au brassage de l'eau dans sa descente vers Nancy, brassage qui entraînerait la dissolution partielle des substances minérales en suspension. La variation relative de résistance dans le trajet de Messein à Nancy est cependant nettement plus marquée en période de pluie ce qui orienterait plutôt vers l'hypothèse des infiltrations.

RÉSISTANCES ELECTRIQUES



1871

1872

1873

1874

2. Points particuliers.

Les maxima, aux points 14 et 15 pour les facteurs précédents, sont respectivement ici aux points 15 et 16. Il est vraisemblable que la Moselle, — donc les filtres et l'aqueduc —, contiennent en ce moment l'eau moins minéralisée qui était tombée dans le bassin supérieur de la rivière les jours précédents. Le débit, plus fort à ce moment, amène au niveau des berges une eau qui n'a pas eu le temps de dissoudre des sels minéraux et qui a pu cependant déposer les plus grosses particules qui ont donné les points 14 et 15.

VARIATIONS COMPARÉES DU NOMBRE DES PARTICULES

Légende des courbes.

Origine: le zéro des ordonnées est à l'origine commune des axes.
Echelle: 1 cm. = 20 particules.

Interprétation.

1. Remarques générales.

Nous signalerons encore le parallélisme des courbes en remarquant que nous avons ici des variations relatives beaucoup plus faibles que pour les matières organiques et les turbidités.

Nous voyons d'autre part que les filtres retiennent aussi un nombre notable de particules: 28 % en moyenne.

Le rendement de cette épuration physique est certes, moins bon que pour les matières organiques, ce qui était à prévoir. Il n'est pas surprenant en effet que bon nombre des particules, qui sont très petites, traversent les filtres alors que les gros débris végétaux, qui constituent une bonne part de la matière organique de l'eau brute, sont retenus.

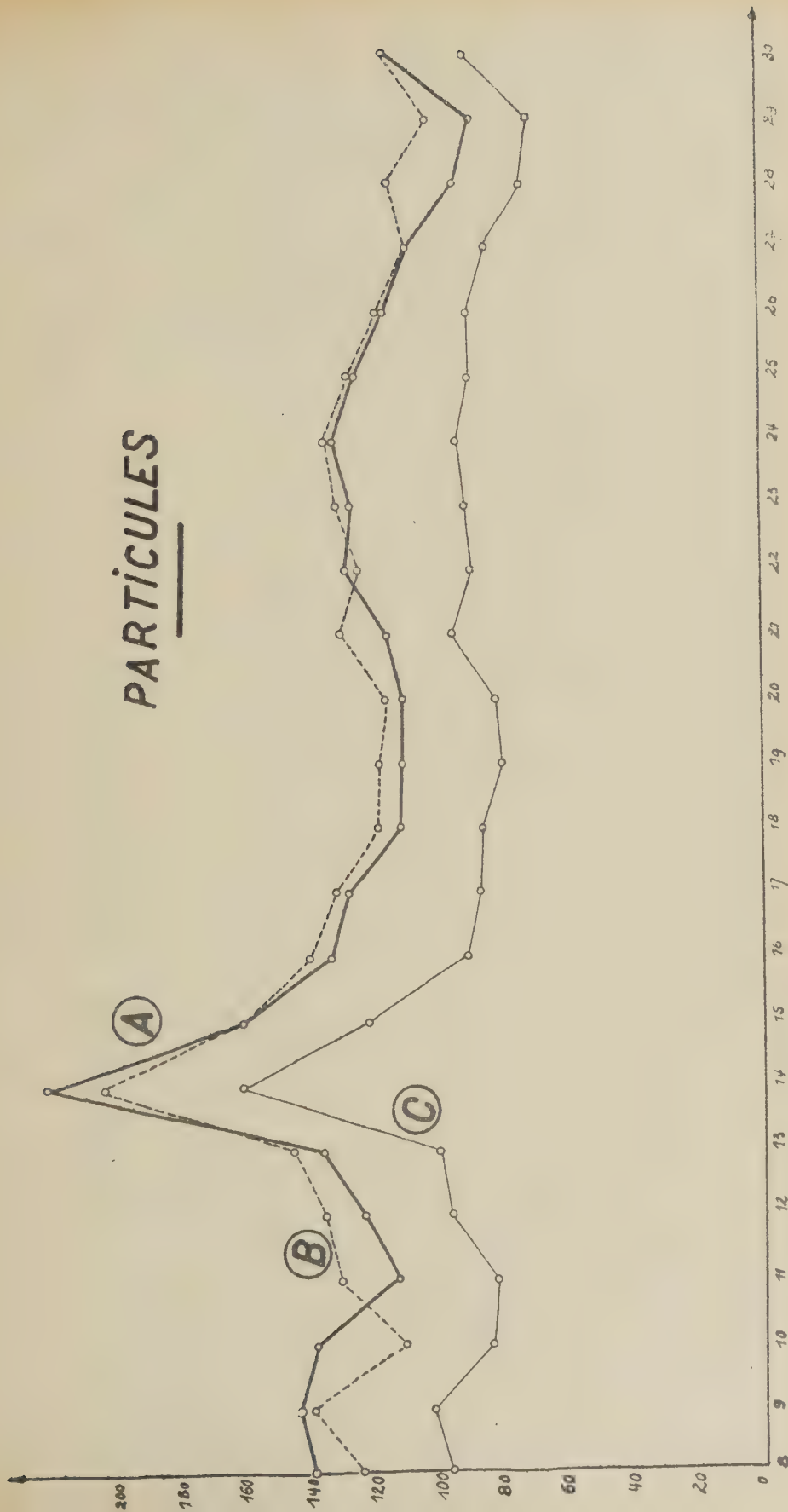
Par contre *la pollution entre Messein et Nancy est très nettement mise en évidence*. Le nombre des particules contenues dans l'eau à l'arrivée à Nancy redevient sensiblement égal à ce qu'il était dans l'eau brute.

2. Points particuliers.

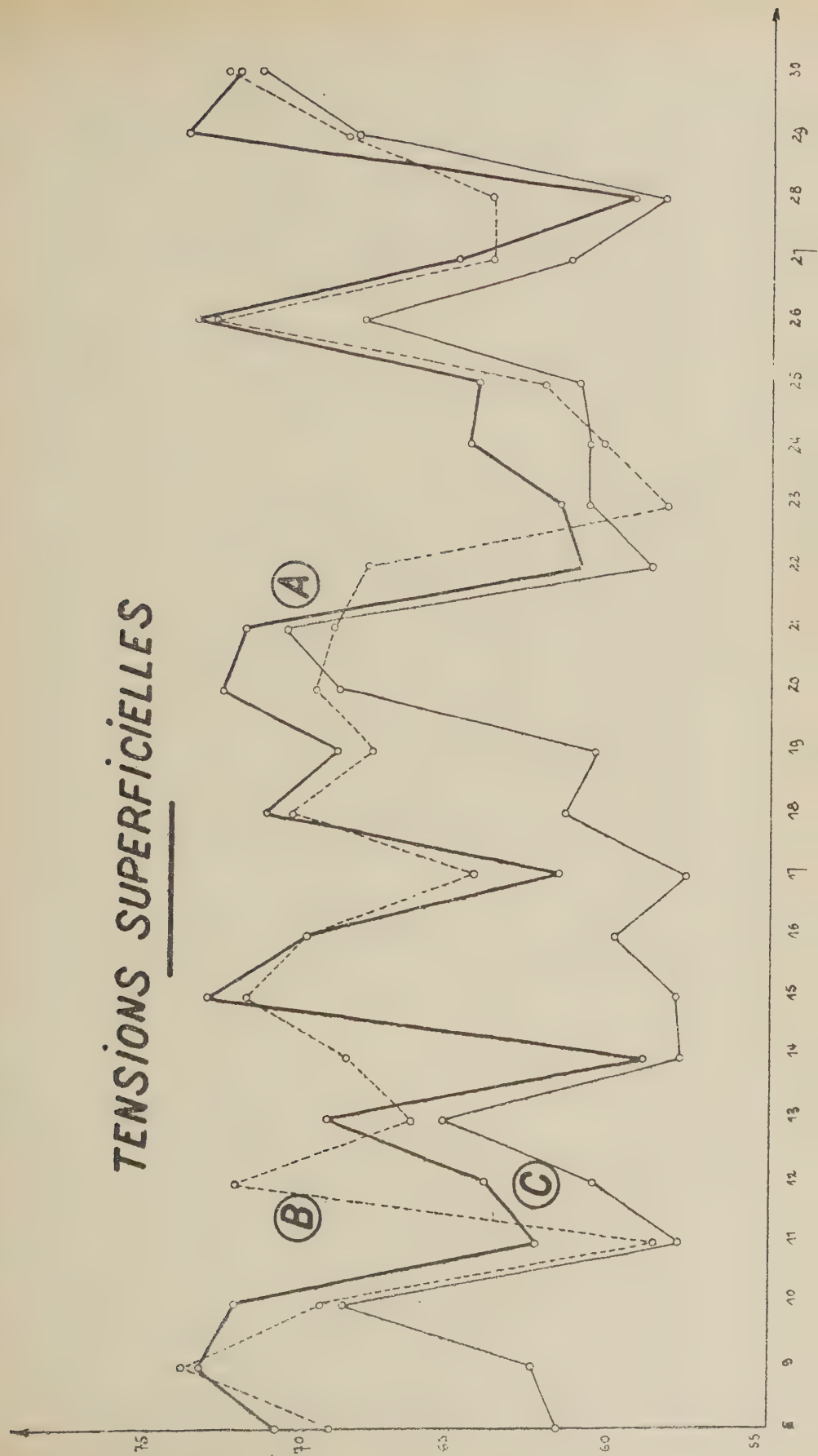
Il est curieux de remarquer que nous ne retrouvons pas sur ces courbes les accidents constatés sur les précédentes. Au point 28, nous trouvons bien une faible montée de la courbe B mais nous avons une baisse sur la courbe C qui montre que les matières organiques et les particules existant en suspension n'ont pas toujours des variations concomitantes.

D'autre part le maximum est au même point pour les trois eaux, ce qui montre le passage très rapide des particules à travers les filtres.

PARTICLES



TENSIONS SUPERFICIELLES



ÉTUDE COMPARATIVE DES VARIATIONS DE TENSIONS SUPERFICIELLES

Légende du graphique.

Origine: Nous avons pris pour origine des ordonnées la cote 55.

Unité: 1 cm. = 2 dynes/cm.

Interprétation.

Les courbes A, B et C ne présentent pas de variations bien systématiques l'une par rapport à l'autre. Il ne faut pas perdre de vue que nous avons adopté une échelle assez grande et surtout que l'axe des abscisses, pour partir du zéro des ordonnées, devrait être descendu de 27 cm. 5. Nous avons dû tracer ainsi nos courbes pour les rendre lisibles. En possession de ces données, nous voyons que les variations relatives ne sont pas très importantes, elles sont de l'ordre de 15 %. Nous nous contenterons de signaler que la tension superficielle de l'eau filtrée est toujours inférieure à celle de l'eau brute, alors que l'eau à l'arrivée à Nancy a une tension superficielle très voisine de celle de cette dernière.

Ce fait appuie les conclusions déjà tirées des observations précédentes, à savoir:

a) Profonde modification de l'eau dans son passage à travers les berges filtrantes.

b) Altération constante de l'eau dans l'aqueduc entre Messin et Nancy.

ÉTUDE COMPARATIVE DES VARIATIONS DE LA TENEUR EN MATIÈRES ORGANIQUES

Légende du graphique.

Origine: le zéro des ordonnées est l'origine commune des axes.
Echelle: 1 cm. $\equiv$ 0 mmg. 33 d'oxygène absorbé.

Interprétation.

1. Remarques générales.

Nous remarquons d'abord un excellent parallélisme des courbes, beaucoup plus marqué que pour les turbidités, mais ici les courbes B et C sont presque confondues et les différences ne sont guère supérieures aux erreurs d'expériences.

En décembre 1930, dans son rapport à la Commission consultative d'Hygiène, M. le Docteur BENECH signale que l'aqueduc doit être sujet à des infiltrations, et précise que par l'analyse chimique, dosage des matières organiques entre autres, il n'a pas été possible de déceler d'infiltrations: nos résultats confirment en effet le manque de sensibilité de cette méthode.

2. Points particuliers.

Nous retrouvons le même décalage du maximum (du point 14 au point 15) pour les courbes B et C.

Au point 28, nous observons le même phénomène que pour la turbidité: mais beaucoup moins accentué. La turbidité anormale que nous avons mentionnée paraît donc dûe à l'entraînement par le courant de matières d'origine surtout organique.

Enfin au point 13, il est curieux de constater que l'accident de la courbe A se traduit parallèlement sur les courbes B et C ce que nous n'avons pas pour les turbidités.

Ces courbes confirment encore l'efficacité des berges filtrantes qui enlèvent à l'eau une moyenne de 38 % de sa matière organique.

MATIERES
ORGANIKES

(A)

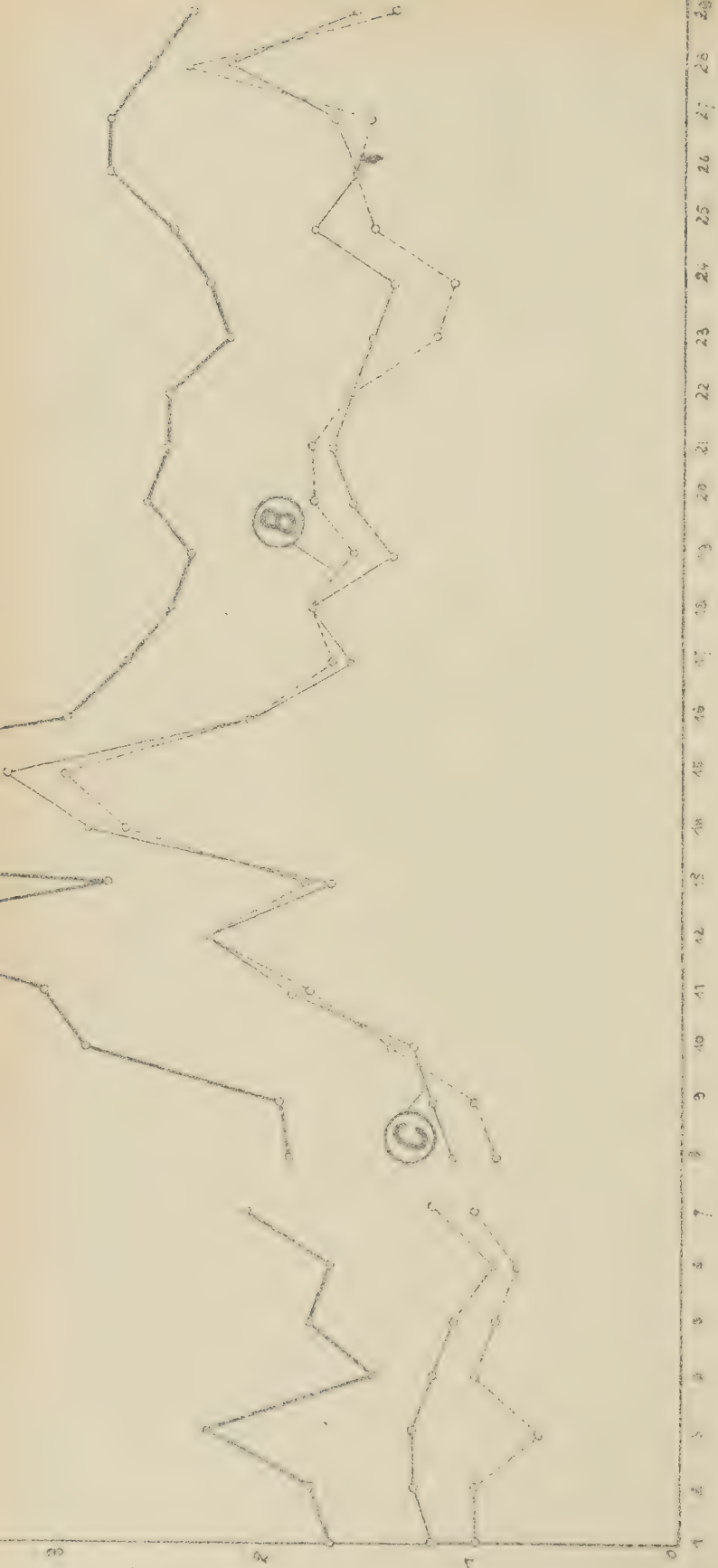
2

7

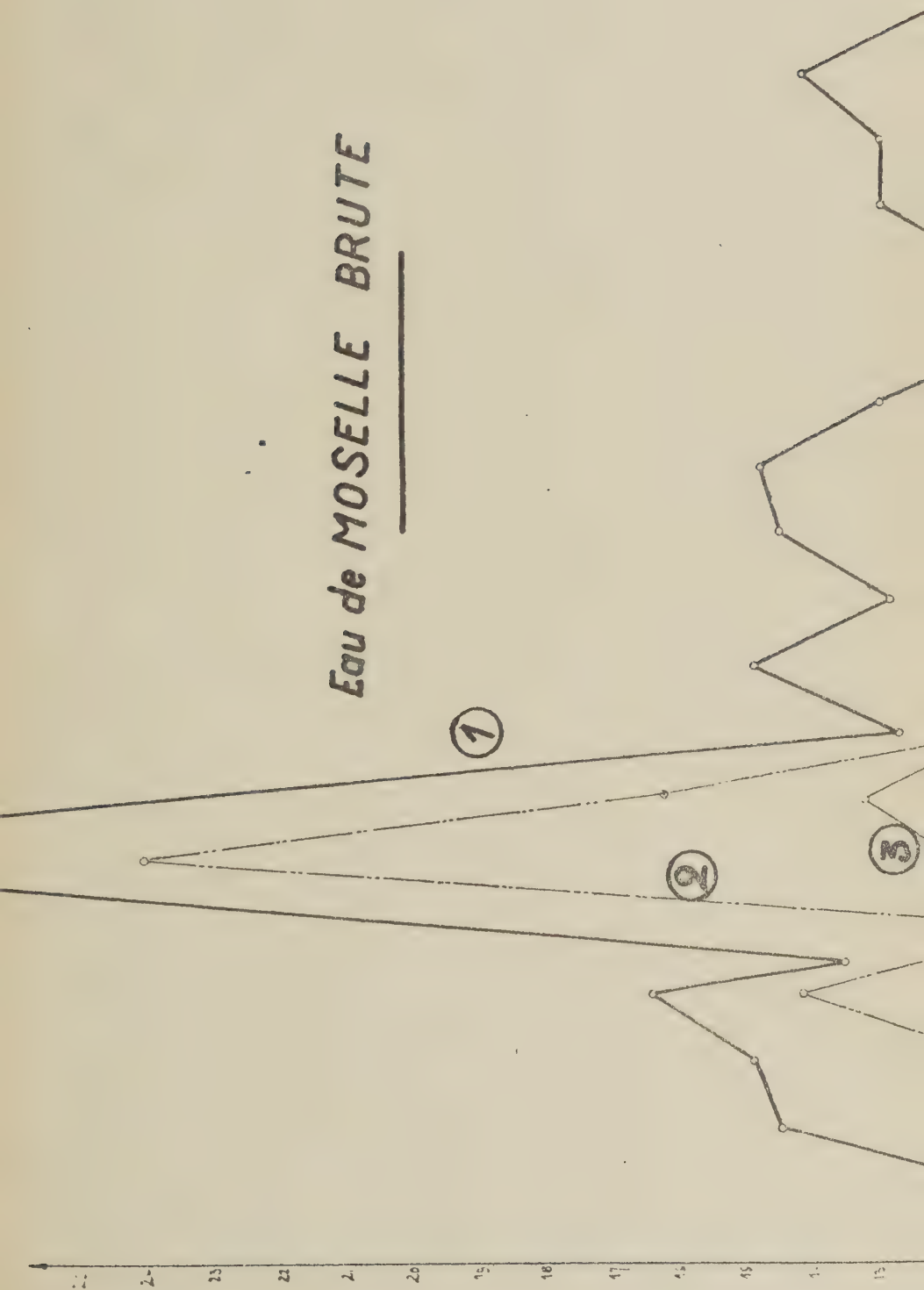
6

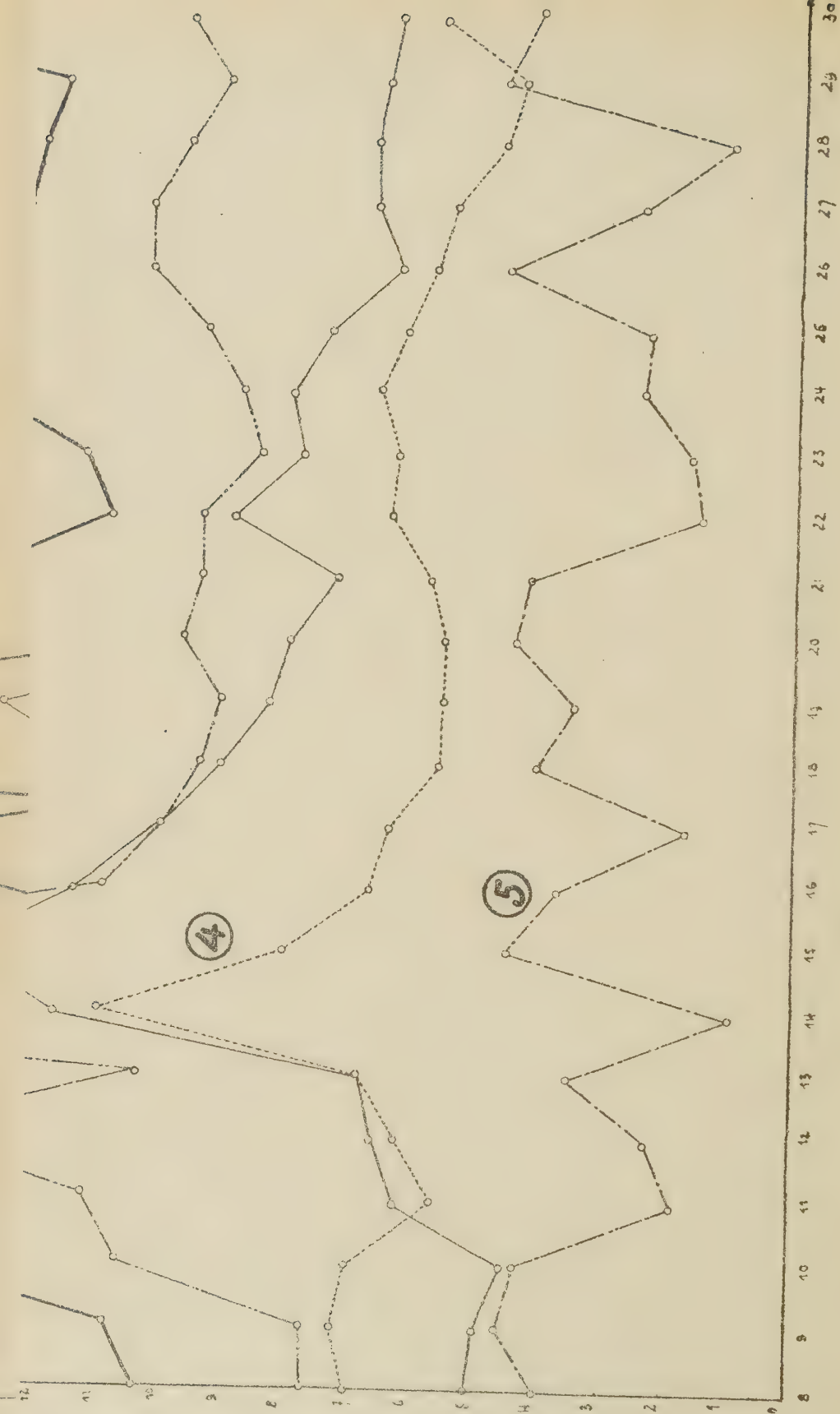
5

4



Eau de MOSELLE BRUTE





EAU DE MOSELLE BRUTE

Légendes du graphique:

Courbe 1: <i>Turbidités</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est remontée de 2 cm. au dessus de l'axe des abscisses. Unité: 1 cm. = 5 mm. du coin.
Courbe 2: <i>Matières organiques</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est remontée de 2 cm. au dessus de l'axe des abscisses. Unité: 1 cm. = 0 mmg. 33 (en oxygène absorbé par litre).
Courbe 3: <i>Résistances électriques</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est à l'origine commune des axes. Unité: 1 cm. = 100 ohms.
Courbe 4: <i>Particules</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est à l'origine commune des axes. Unité: 1 cm. = 20 particules.
Courbe 5: <i>Tensions superficielles</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées a pour cote: 55. Unité: 1 cm. = 4 dynes/cm.

Nous soulignerons dès le début la communauté d'allure entre les courbes 1, 2, 3, 4, cette similitude est surtout marquée entre les courbes 1 et 2. Cependant, nous remarquerons ici que les variations de turbidité entre les expériences 16 à 24 par exemple sont susceptibles d'être connues à 1/50 près, alors que les variations correspondantes de la matière organique sont connues à peine à 1/5^e près et dans certains cas ces variations sont très proches de la limite des erreurs d'expérience.

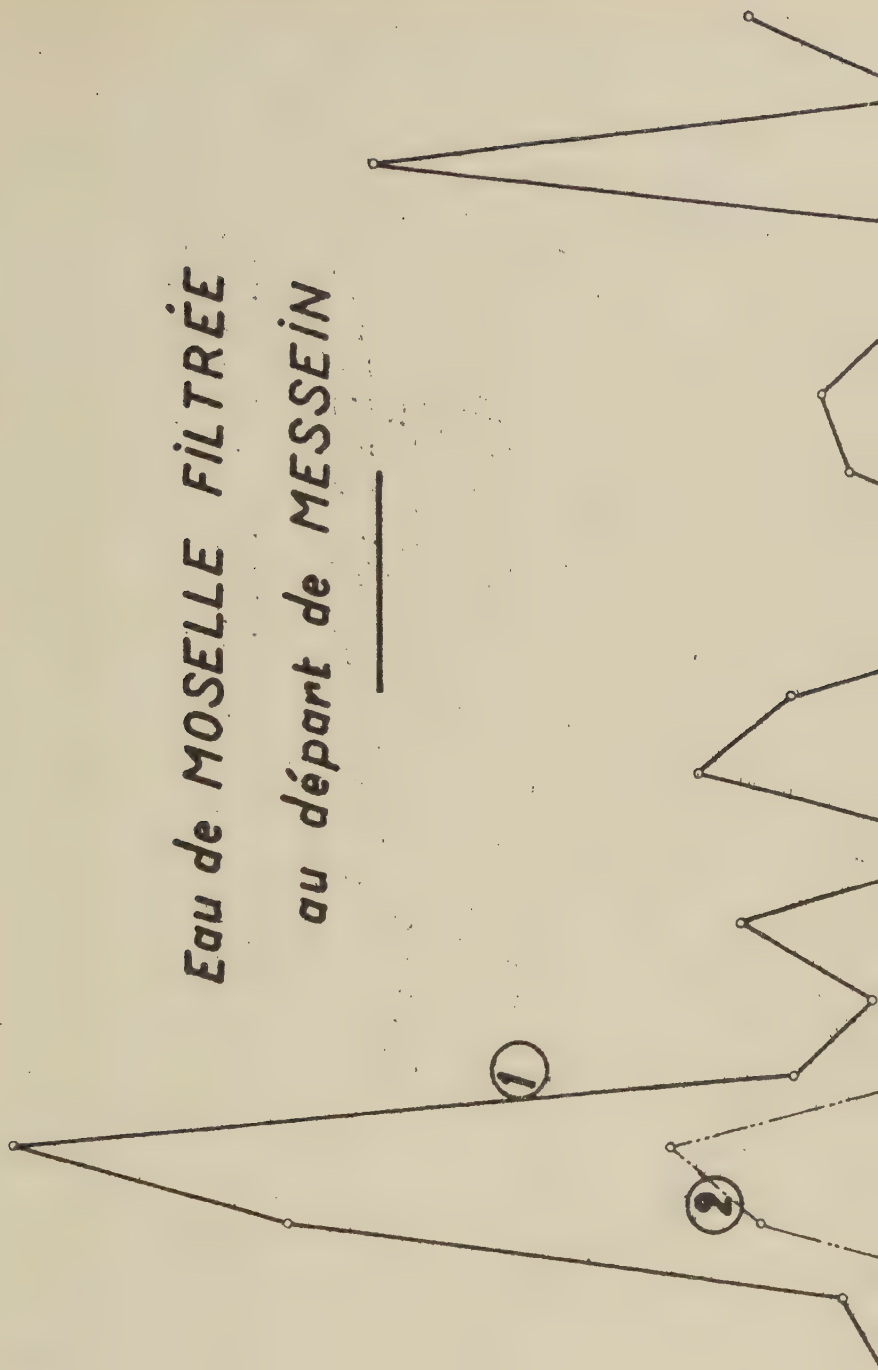
La courbe 4, représentant les particules, offre un maximum net comme les deux précédentes à l'expérience 14. Il est à remarquer que les variations du nombre des particules ne se font pas toujours dans le même sens que les variations de turbidité et de matières organiques: entre les expériences 10 et 13, 21 et 25 par exemple.

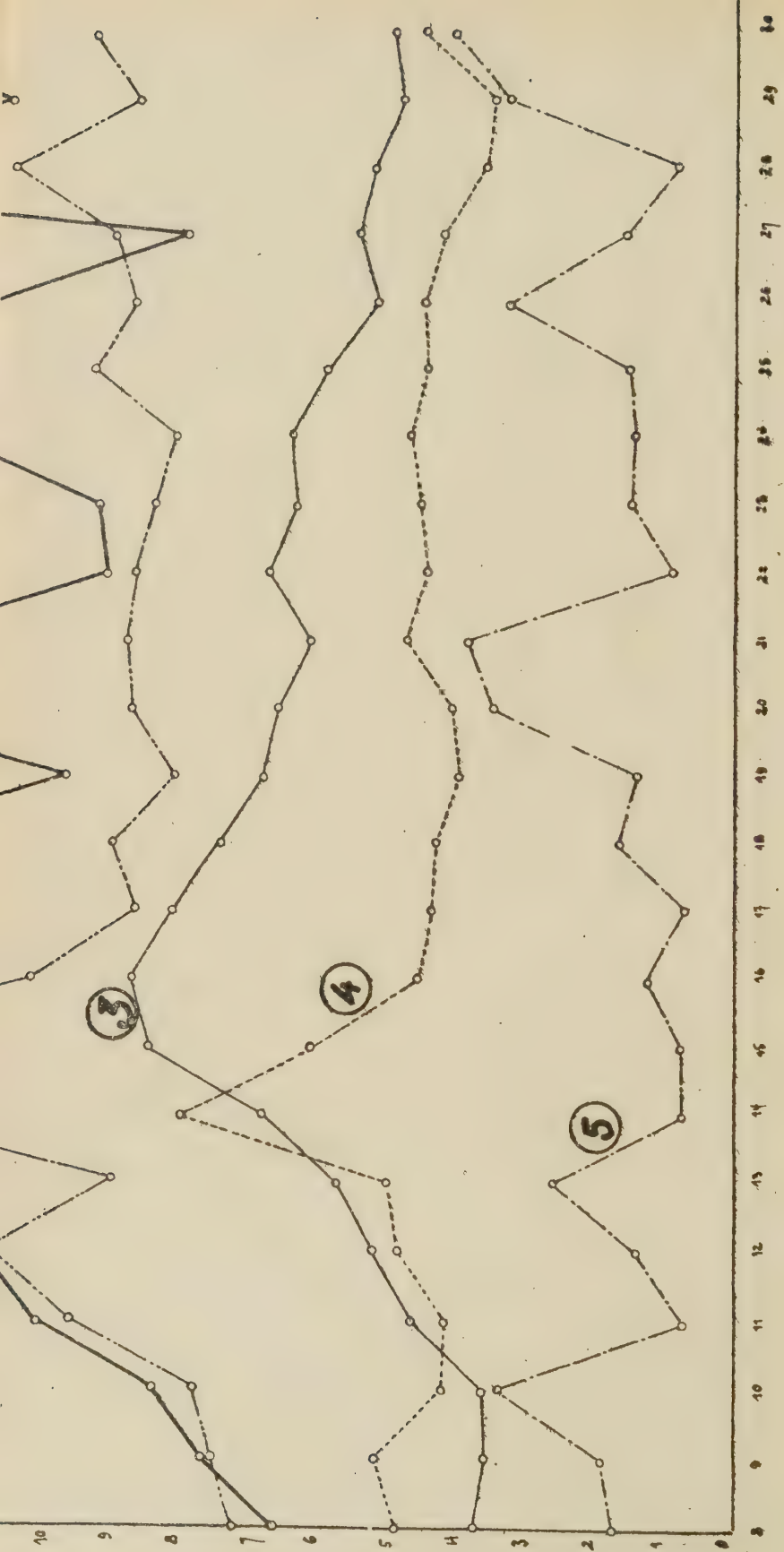
Pour expliquer que la courbe 3, représentant les variations de résistance électrique, a son maximum après les courbes 1, 2 et 4, nous rappellerons que ce point doit correspondre à l'arrivée à Messein des eaux de ruisellement du cours supérieur de la Moselle.

Nous avons espéré trouver une relation relativement simple entre les altérations possibles de l'eau, la minéralisation (manifestatée par les résistances électriques), le nombre des particules ultra-microscopiques d'une part, et la tension superficielle d'autre part. Cette relation ne s'est pas manifestée. Le nombre des expériences faites n'est peut-être pas assez grand pour permettre une conclusion. Cependant, nous noterons que, dans presque tous les cas et par rapport au point correspondant de l'axe des abscisses, à une allure concave de la courbe des particules s'oppose une allure convexe de la courbe des tensions. Si les accidents paraissent plus marqués sur la courbe des tensions, ceci tient à l'échelle choisie.

*Eau de MOSELLE FILTRÉE
au départ de MESSEIN*

25
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11





EAU DE MOSELLE FILTRÉE AU DÉPART DE MESSEIN

Légendes du graphique:

Courbe 1:	}	Origine: L'origine des ordonnées est remontée de 4 cm. au dessus de l'axe des abscisses.
<i>Turbidités</i>		Unité: 1 cm. = 5 mm. du coin.
Courbe 2:	}	Origine: L'origine des ordonnées est remontée de 4 cm. au-dessus de l'axe des abscisses.
<i>Matières organiques</i>		Unité: 1 cm. = 0 mmg. 33 (en oxygène absorbé par litre).
Courbe 3:	}	Origine: L'origine des ordonnées a pour cote: 100.
<i>Résistances électriques</i>		Unité: 1 cm. = 100 ohms.
Courbe 4:	}	Origine: L'origine des ordonnées est à l'origine commune des axes.
<i>Particules</i>		Unité: 1 cm. = 20 particules.
Courbe 5:	}	Origine: L'origine des ordonnées a pour cote: 55.
<i>Tensions superficielles</i>		Unité: 1 cm. = 4 dynes/cm.

Nous remarquons d'abord que les courbes à 1, 2, 3, 4, bien qu'ayant une certaine similitude d'allure, présentent cependant quelques divergences. Alors que le maximum des matières organiques a lieu en même temps que celui des turbidités, le maximum de la courbe des particules a lieu avant, et le maximum principal de la courbe des résistances a lieu après. L'explication de ceci a déjà été donnée: les filtres laissent passer une grande partie des particules et les eaux de pluie des Vosges arrivent à Messein avec un certain retard.

Dans les expériences 12 et 13 nous notons une divergence entre la variation de turbidité, — elle augmente —, et la variation de la matière organique qui décroît; mais en ces points il y a augmentation du nombre des particules: *la turbidité manifeste donc les variations du nombre des particules ultra microscopiques.*

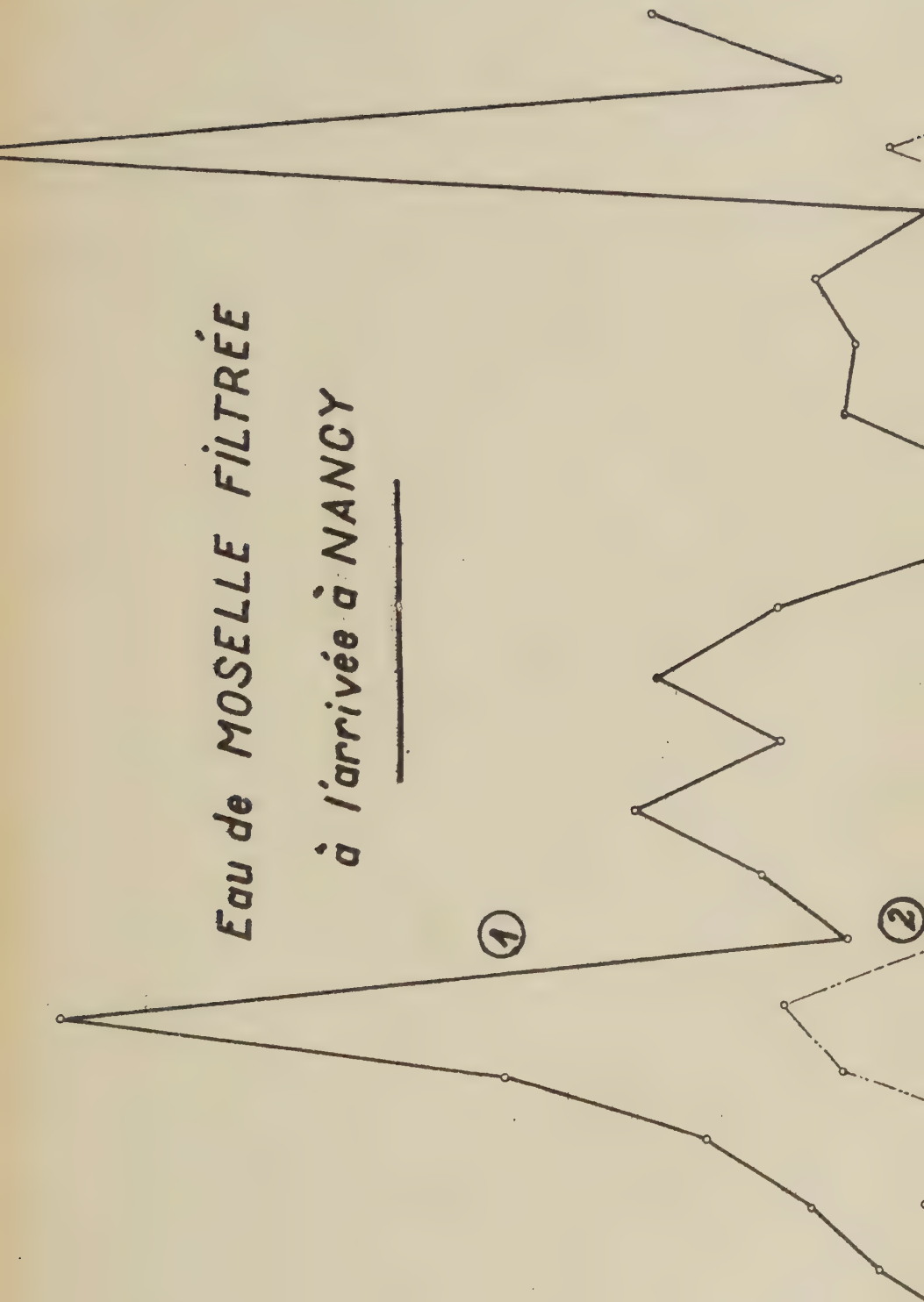
Pour les expériences 14 et 15, 27 et 28, par exemple, on observe un très net accroissement de la turbidité, alors que le nombre des particules diminue. *Dans ce cas la variation de turbidité manifeste la variation des matières organiques.* Ces deux remarques montrent l'importance de la détermination de la turbidité dans la stérilisation d'une eau. On sait en effet qu'il y a disparition d'une partie de l'agent stérilisant par absorption ou par combinaison chimique. Si l'on se base sur un seul des deux facteurs précédents pour déterminer, aussi exactement qu'il est possible en pratique, la dose à employer, on risque, en négligeant l'autre, d'employer des quantités insuffisantes. En se basant sur les variations de turbidité cet inconvénient est évité.

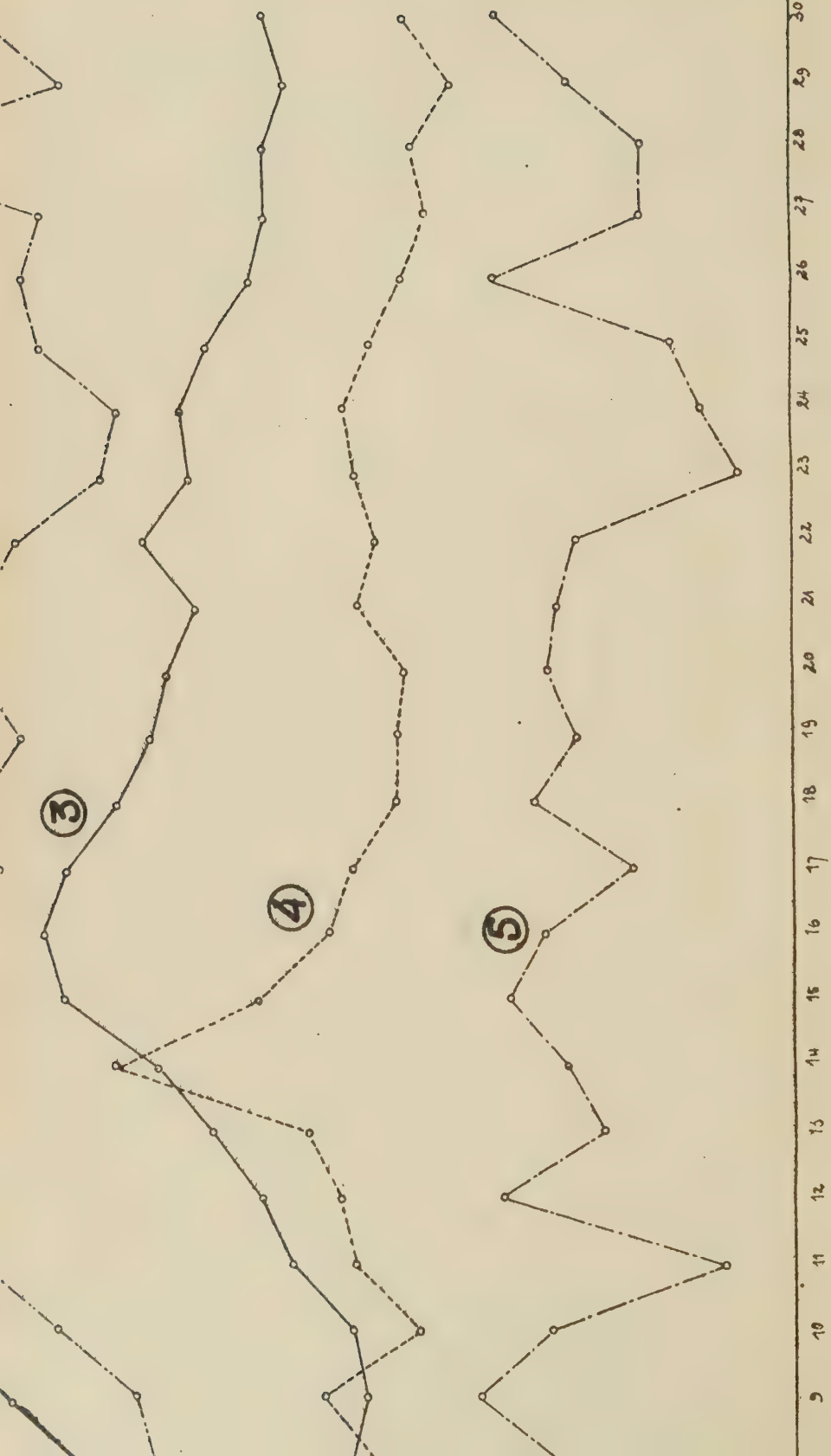
A remarquer que les variations relatives de la turbidité sont plus faibles pour l'eau filtrée que pour l'eau brute; il en est de même des matières organiques, ce qui montre le rôle de « tampon » des berges filtrantes.

Eau de MOSELLE FILTRÉE
à l'arrivée à NANCY

①

②





EAU DE MOSELLE FILTRÉE A L'ARRIVÉE A NANCY

Légendes du graphique:

Courbe 1: <i>Turbidités</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est remontée de 6 cm. au-dessus de l'axe des abscisses.
		Unité: 1 cm. = 5 mm. du coin.
Courbe 2: <i>Matières organiques</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est remontée de 7 cm. au-dessus de l'axe des abscisses.
		Unité: 1 cm. = 0 mmg. 33 (en oxygène absorbé par litre).
Courbe 3: <i>Résistances électriques</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est remontée de 2 cm. au-dessus de l'axe des abscisses.
		Unité: 1 cm. = 100 ohms.
Courbe 4: <i>Particules</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées est à l'origine commune des axes.
		Unité: 1 cm. = 20 particules.
Courbe 5: <i>Tensions superficielles</i>	{	Origine: L'origine des ordonnées a pour cote: 55.
		Unité: 1 cm. = 4 dynes/cm.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre toutes les remarques faites dans l'interprétation précédente sont encore valables ici. Nous devons cependant noter la plus grande amplitude des variations relatives de turbidité et des variations relatives des matières organiques. Il est vraisemblable que ceci est dû aux pollutions qui sont plus accentuées en période de pluie ou lors d'un grand débit de l'aqueduc; il doit alors se produire un certain appel des eaux d'infiltration qui l'entourent.

CONCLUSIONS

Du point de vue général

1° Après avoir mis en évidence le peu de précision des moyens utilisés à ce jour dans l'étude de la turbidité des eaux, nous avons décrit un appareil réalisé au laboratoire de Physique de la Faculté de Pharmacie destiné à la mesure précise des turbidités. Nous avons, par un emploi prolongé, prouvé la valeur technique de cet appareil. Nous avons rapporté la définition d'un indice de turbidité, proposé par le laboratoire, appuyé sur les définitions optiques courantes et permettant des comparaisons d'un laboratoire à l'autre.

2° Nous avons souligné les avantages résultant de l'emploi, pour la mesure des résistances des électrolytes, d'un montage relativement simple, donnant une précision réelle élevée, et qui ne semble pas être utilisée par les laboratoires d'hygiène autant que le méritent les avantages qu'il procure.

3° Nous avons, par la détermination simultanée sur un certain nombre d'eaux, mis en évidence les relations existant entre certains caractères physiques : turbidité, résistance électrique, tension superficielle, numération des particules, d'une part, puis entre ces grandeurs et les matières organiques exprimées en oxygène consommé (test habituel des laboratoires d'hygiène) d'autre part.

4° Notre étude nous a montré que la turbidité met en évidence les variations des facteurs considérés habituellement comme les plus intéressants pour diriger une stérilisation. D'autre part ses variations relatives sont les plus marquées et elle est, dans les facteurs physiques étudiés, susceptible d'une très grande précision, précision qui dépasse de loin celle obtenue par exemple sur les matières organiques. Elle nous apparaît dès lors comme le procédé de choix pour suivre une eau et orienter sa purification.

Du point de vue particulier

1° Nous avons mis en évidence l'efficacité des berges filtrantes de l'installation de Messein dans leur utilisation en usage normal. Qu'il s'agisse de matières organiques, de particules ou de turbidité, l'amélioration obtenue pour l'eau vaut les sacrifices d'argent que ces filtres ont pu demander. Nous avons eu la possibilité de montrer qu'une surcharge de ces filtres était à éviter.

2° Alors que les méthodes chimiques ont échoué lorsqu'on a cherché la preuve d'une pollution des eaux en cours de route dans l'aqueduc qui joint Messein au réservoir Saint-Charles, les méthodes employées par nous ont rendu flagrante l'altération de l'eau le long de cet aqueduc, qu'il s'agisse de numération de particules, de résistances électriques et plus encore des turbidités. La nécessité d'une réfection de la canalisation ou de l'installation de filtres à l'arrivée à Nancy, est ainsi établie.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) M.-A. GUILLERD: Ann. Hygiène, août 1928, p. 449.
 - (2) TOURNEUX et JACQUEMAIN: Cong. Soc. Sav. Besançon avril 1932.
 - (3) DIENERT: Revue Hygiène, décembre 1928, p. 881
 - (4) THOMAS: Arch. de Pharm. Allemande, 1926, cahier 7-8.
 - (5) DONZELOT et JACQUEMAIN: Soc. Sciences, Nancy, février 1932.
DONZELOT et JACQUEMAIN: Cong. Soc. Sav., Besançon, avril 1932.
DONZELOT P.: Soc. franç. de Chimie, Section Nancy, 7 mai 1933.
 - (6) GAMBETTA: Revue d'Optique 1931, T. 8, p. 297.
NATHANSON: Astrophysical Journal, 1916, T. 44, p. 137.
ROUGIER: Revue d'Optique, 1922, T. 2, p. 355.
LAMBERT et CHALLONGE: Revue d'Optique, 1926, T. 5, p. 404.
 - (7) CAMPBELL: Photoelectric Cells, Pitman, Londres, Edit.
ZWORYKIN: Les cellules photoélectriques et leurs applications, Dunod Edit.
JOUAUST R.: Les cellules photoélectriques, Bull. Soc. Fr. des Elec., 1932, p. 1024.
 - (8) BOUTRY G.-A.: Journ. de Phys., nov. 1932, p. 520.
 - (9) GUTTON: La lampe à trois électrodes. Presses Universitaires de France,
GUTTON: Radiotechnique Générale, Baillière, Edit.
 - (10) DONZELOT P. et DIVOUX J.: Bulletin de la Soc. Franç. de Physique, 1932, p. 146 s.
DONZELOT P. et DIVOUX J.: Bulletin de la Soc. franç. de Physique 1932, p. 167 s.
 - (11) DONZELOT P. et DIVOUX J.: Bulletin de la Soc. franç. de Physique, 1933, p. 78 s.
DONZELOT P. et DIVOUX J.: Bulletin de la Soc. franç. de Physique, 1933, p. 100 s.
 - (12) WYNN WILLIAMS: *Phil. Mag.*, 1928, T. 6, p. 327.
MULDER et RAZEK: J. O. S. A., 1930, T. 20, p. 155.
BRENTANO: Phys. Zeit., 1929, T. 54, p. 571.
EGLIN: J. O. S. A., 1929, T. 18, p. 393.
 - (13) DARMOIS: Leçons sur la conductibilité des électrolytes.
 - (14) LORENZ et KLAUER: Zeit. f. anorg. Chemie, 1924, T. 136, p. 121.
 - (15) LECOMTE DU NOUY: Equilibres superficiels des solutions colloïdales. Paris, Masson (1929).
 - (16) Matières organiques. — Cours profess. par M. GRÉLOT à la Faculté de Pharmacie de Nancy.
 - (17) GUEBEN et RASSENFOSSE: Ann. de Phys. Biol., 1930, T. 8, p. 130.
-

VU ET BON A IMPRIMER:

Nancy, le 5 juillet 1933.

Le Doyen,

SEYOT.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER:

Nancy, le 6 juillet 1933.

Le Recteur de l'Académie,

Président du Conseil de l'Université,

BRUNTZ.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	7
------------------------	---

INTRODUCTION	9
------------------------	---

PREMIÈRE PARTIE

Turbidité des eaux d'alimentation	11
Conductibilité électrique des eaux d'alimentation	27
Numération des particules ultramicroscopiques	38
Mesure des tensions superficielles	40
Matières organiques.	43

DEUXIÈME PARTIE

Les prélèvements	47
Mesures des turbidités	49
Mesures des résistances électriques	54
Numération des particules ultramicroscopiques	60
Dosages des matières organiques	65

TROISIÈME PARTIE

Représentation graphique et interprétation des résultats	69
Etude comparative des variations de turbidité	70
Etude comparative des variations de résistances électriques	72
Variations comparées du nombre des particules	74
Etude comparative des variations de tensions superficielles	75
Etude comparative des variations de la teneur en matières organiques	76
Eau de Moselle brute	77
Eau de Moselle filtrée au départ de Messein	79
Eau de Moselle filtrée à l'arrivée à Nancy	81

CONCLUSIONS	83
-----------------------	----

BIBLIOGRAPHIE	85
-------------------------	----
